DER ELMORE-VAKUUM-PROZESS

DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DER WÜRDE
EINES DOKTOR-INGENIEURS

VORGELEGT VON
MAX MOLDENHAUER
DIPLOM-INGENIEUR
AUS KEMBERG

AGRI
LUGD. BAT.
BIBL.

GENEHMIGT VON DER
KÖNIGLICHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE ZU BRESLAU

REFERENT: DOZENT DIPL.-ING. W. GROSS
KORREFERENT: PROF. DR. R. SCHENCK

TAG DER MÜNDLICHEN PRÜFUNG: 27. OKTOBER 1913

HAMBURG
1915

57586

DER ELMORE-VAKUUM-PROZESS

DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DER WÜRDE
EINES DOKTOR-INGENIEURS

VORGELEGT VON
MAX MOLDENHAUER
DIPLOM-INGENIEUR
AUS KEMBERG

ACAD.
LUGD. BAT.
BIBL.

GENEHMIGT VON DER
KÖNIGLICHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE ZU BRESLAU

REFERENT: DOZENT DIPL.-ING. W. GROSS
KORREFERENT: PROF. DR. R. SCHENCK

TAG DER MÜNDLICHEN PRÜFUNG: 27. OKTOBER 1913

HAMBURG
1915

Lebenslauf.

Max Moldenhauer wurde geboren am 14. Januar 1886 zu Kemberg bei Wittenburg (Prov. Sachsen). Er besuchte zuerst die Volksschule, dann das Gymnasium zu Saarbrücken bis Obersecunda, arbeitete dann ein Jahr in dem Betriebe einer Maschinenfabrik und Eisenkonstruktionswerkstätte und ging hiernach nach Berlin, um sich privatim auf das Abiturientenexamen vorzubereiten, welches er zu Ostern 1905 als Extraneus am Realgymnasium zu Ruhrort bestand. Das erste Semester verbrachte er an der kgl. techn. Hochschule zu München. Vom Herbst 1905 ab studierte er in Aachen, wo er am 18. April 1907 die Diplom-Vorprüfung und am 29. Oktober 1908 die Diplom-Hauptprüfung bestand. Während der jeweiligen großen akademischen Ferien praktizierte er in einem Stahlwerk, Laboratorium und Gießerei-Konstruktionsbüro der Großindustrie im Saargebiet und Westfalen. Nach abgelegtem Diplom-Examen trat er in die Dienste der Mittenberger Kupfer-Aktien-Gesellschaft, wo bei Gelegenheit der Neueinrichtung des Aufbereitungsbetriebes die Unterlagen für vorliegende Arbeit gesammelt wurden.

Herrn Konsul Emil Knudsen

als äußeres Zeichen seiner Dank-
barkeit und Verehrung gewidmet

vom Verfasser

Die mit dem Namen Schwemm- oder Schwimmverfahren bezeichneten Prozesse — je nachdem man dabei an die Operation oder an die Eigenschaft der Mineralien denkt — benutzen mehr oder weniger erfolgreich die Schwimmfähigkeit sulfidischer Erze zur Separation von der Gangart oder auch untereinander. Unter den Schwimm- oder Flotationsprozessen sind alle diejenigen Verfahren zu verstehen, welche entweder ohne ein anderes Medium als Wasser oder durch Anwendung eines weiteren oder mehrerer die Schwimmfähigkeit infolge geeigneter Oberflächenspannung eines der Mineralien zur mechanischen Scheidung benutzen. Dazu werden fetthaltige Substanzen, Säuren, aufsteigende Gasbläschen, Salzlösungen allein oder in Kombination miteinander gebraucht.

Die Geschichte der Prozesse dieser Art bietet einen neuen Beweis dafür, wie lange oft ein guter Gedanke basierend auf exakter Beobachtung braucht, um sich in praktischer Weise durchzusetzen und wie oft bisweilen eine Entdeckung zu wiederholten Malen gemacht wird.

Die erste Bezugnahme[1] auf die selektive Wirkung des Öles für metallische Substanzen findet sich in dem britischen Patent Nr. 488 aus dem Jahre 1860 von Haynes. Darin wird ein Verfahren geschützt, das die Mischung mit einer öligen oder fettigen Substanz benutzt oder Kohlenteer etc., der mit dem feinen Erz zur Bildung einer puddingähnlichen Masse angerührt wird. Als nächste Patente kommen die Tunbridges U. S, A. 207 695 aus dem Jahre 1878 und U. S. A. 228 004 von 1879. Das erste bezieht sich auf Mittel zur Gewinnung von Haltigem, das durch ölige Kohlenwasserstoffe und Seife zum Schwimmen gebracht wird; das zweite geht weiter, indem es der Gewinnung mit Hilfe der Schwimmfähigkeit der Mineralien gedenkt, die mittels einer säurehaltigen oder Seifenlösung gesammelt werden.

Dann folgt Miss Eversons Patent[2] U. S. A. 348 157 aus dem Jahre 1886. Dieses schreibt den Gebrauch von Öl und angesäuertem Wasser vor, mit welchen das Erz zu einer dicken Paste angerührt wird. Diese wird dann mit Wasser verdünnt, erhitzt und gewaschen, um die Gangart wegzubringen, wonach das Wertvolle zurückbleibt.

Als weitere Erfinder von Flotationsprozessen sind dann noch zu nennen: Sutton[3] und Robson & Growder[4], ehe Elmore mit seinem ersten Verfahren im Jahre 1898 zuerst hervortrat und schließlich, wenn auch nur vorübergehend, in die Praxis einführte. Seit jener Zeit ist die Zahl der auf Schwimmverfahren entnommenen Patente auf 500—600 gestiegen. Doch kann man sagen, daß bei allem inneren Zusammenhang nur folgende charakteristische Verfahren bekannt geworden sind, wobei die nachfolgende Einteilung freilich nur auf rein äußerlichen Gesichtspunkten beruht:

1. Verfahren, welche sich nur mechanischer Hilfsmittel bedienen (Macquisten[5], Wood[6], Brackelsberg, Jeffrey);

2. Verfahren, welche aufsteigende Gasbläschen benutzen, um die schwimmfähigen Mineralteilchen zur Oberfläche zu bringen und dort zu halten (Potter-Delprat[7], De Bavay[8]);

---

1) Min. & Eng. Rev. Febr. 6 und March 6, 1911.
2) Vergl. auch Eng. & Min. Journ. Vol. 91 S. 745.
3) Brit. Patent 24 144 1892.
4) Brit. Patent 427/1894.
5) Eng. & Min. Journ. Vol. 84 S. 359 u. ff. Vol. 86 S. 23.
6) Eng. & Min. Journ. Vol. 93 S. 227—228, Met. u. Chem. Eng. 1912 S. 132/34.
7) Metallurgie 1907 S. 522—530, 543—548.
8) Eng. & Min. Journ. Vol. 82 S. 344.

3. Verfahren, die bei gewöhnlicher Temperatur eine adhärierende Fettsubstanz oder ein Öl gebrauchen (Alter Elmore-Prozeß[9], Catermole[10]);

4. Verfahren, welche diese Substanzen im Verein mit Säure bei gesteigerter Temperatur verwenden (Ballot[11], Minerale Separation[12], Leuschner[13], Friedrichssegen[13], Hoover, Horwood, Sulmann, Picard, Heyde, Van Meter[14]);

5. Verfahren bei gewöhnlicher Temperatur mit einer Fettsubstanz und aufsteigenden Gasbläschen (Elmore-Vakuum-Prozeß[15]);

6. Verfahren mit Verwendung einer stärkeren, sauren Lösung eines Metallsalzes bei gewöhnlicher oder gesteigerter Temperatur in Verbindung mit mechanischer Bewegung (Delprat[16], Schlenzig[17]).

Es dürfte vielleicht auffallen, dass bei den unter Position 1, 3 und 5 genannten Prozessen der in der Praxis verwendeten Säure keine Erwägung getan wird, was darin seine spätere Begründung finden wird, dass dieselbe nicht als integrierende Bestandteile dieser Verfahren anzusehen ist.

Die zu beschreibenden Untersuchungen, soweit sie sich auf den Elmore-Vakuum-Prozess beziehen, wurden mit einem Apparat Type 5 der Ore Concentration Company 1905 Ltd. (London) in der Aufbereitung der Mitterberger Kupfer-Akt.-Ges. ausgeführt. Dieser war sowohl der alten als später auch der neuen nass-mechanischen Anlage dieser Gesellschaft als letztes Glied der Sortierung angehängt.

Der Gang des Prozesses sei im Folgenden im Anschluss an Fig. 1 beschrieben:

Das zu behandelnde Erz wird, soweit es nicht als Mittelprodukt einer nass-mechanischen Aufbereitung entstammt, zunächst in üblicher Weise unter Anwendung von Wasser gemahlen und die auf diese Weise erhaltene Trübe wird mittels einer Rinne zur Mitte eines mit *A* bezeichneten zur Verdickung des Breies dienenden Spitztrichters befördert. In diesem Verdichtungskasten findet ein mehr oder weniger vollständiges Absetzen der festen Bestandteile statt, der verdichtete Brei wird durch die mit *C* bezeichnete Ventilkammer abgeführt, welche durch die kleine Welle und die Hebedaumen *B* betätigt wird. Das mehr oder weniger klare am oberen Rande des Spitzkastens *A* überströmende Wasser fliesst durch Rohr *K* ab und wird je nach Bedarf entweder in den Trichter *Q* oder durch Rohr *M* in die Abflussrinne entleert.

Der verdickte Brei wird aus der Ventilkammer *C* durch die Vorkammer *D* dem Mischer *N* zugeführt. Diese Vorkammer erhält ausserdem aus dem Säurebehälter *I* durch das Rohr *S* eine geringe Menge verdünnter Schwefelsäure und aus dem Fasse *G* eine gewisse Menge geeigneter Mineralöle. Eine automatische d. h. kontinuierliche Zufuhr wird in der Weise erreicht, dass in dem Trichter am oberen Ende des Rohres *F* bei *E* Wasser zufliesst, wodurch eine gleiche Menge Öl in dem Rohre *H* nach der Vorkammer *D* aufsteigt.

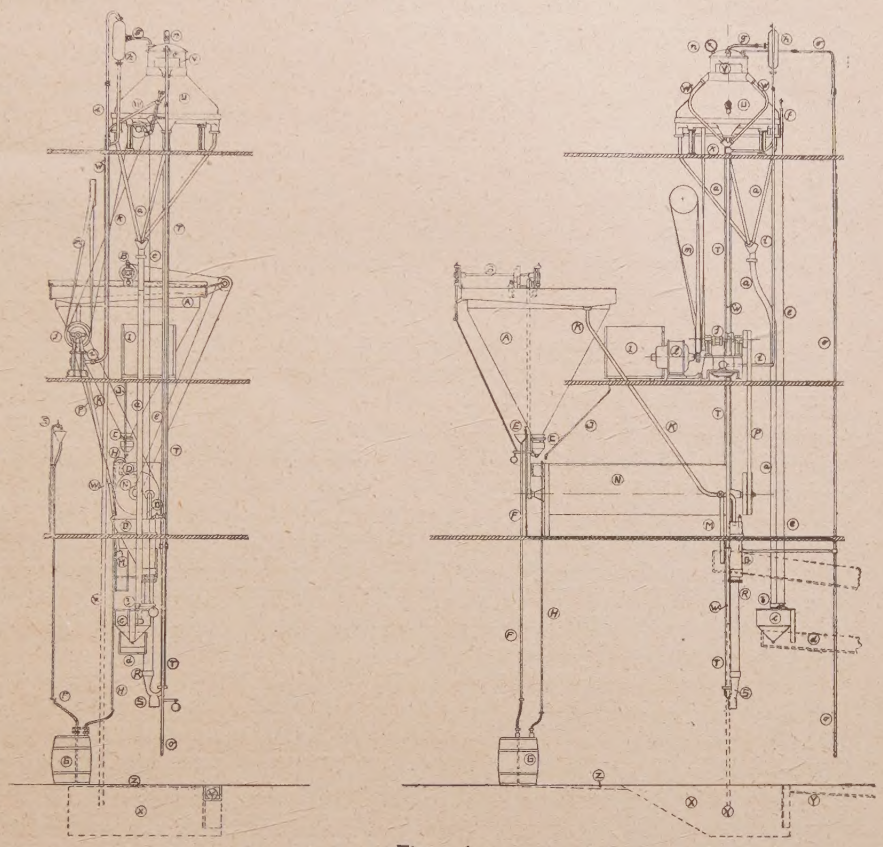
Mittels des Antriebsriemens wird die Schlägerwelle in den Mischer *N* in Rotation versetzt, wodurch eine intensive Mischung der Säure und des Öles mit dem Erzbrei herbeigeführt wird.

Die Gesamtmenge dieser so behandelten Trübe fliesst ununterbrochen aus dem Mischer in den Trichter *Q*, dem Einlauf zum U-Rohr *T*, das mit der Mitte des Konzentrators *M* in Verbindung steht. Dieser ist an seinem oberen Ende durch Rohr *g* mit der durch den Motor *e* angetriebenen Vakuumpumpe *j* verbunden. Infolge des durch die Luftpumpe im Konzentrator hervorgerufenen Vakuums steigt der Erzbrei in diesem auf, wobei die obenauf schwimmenden Konzentrate über den

---

9) Metallurgie 1908 S. 1–7, 45–50.
10) D. R. P. 163750, 161300, 164605.
11) Eng. & Min. Journ. 1911 S. 994–997.
12) Eng. & Min. Journ. 1910 S. 913–917.
13) D. R. P. 222089, 225809, Glückauf, 1912 Nr. 30.
14) Richards Ore Dressing Vol. III S. 1992.
15) Metallurgie 1908, S. 1–7, 45–50.
16) D. R P. 156450.
17) Nach privaten Mitteilungen.

Rand des Glaszylinders *V* überfliessen. Von hier aus gelangen sie dann durch die beiden Rohre *W* abwärts und schliesslich in die gleichzeitig als Wasserabschluss für diese dienende Grube *X*. Die unhaltigen Abgänge fliessen in den vier Röhren *a* abwärts und gelangen durch das Abzugsventil *b* in den Spitzkasten *c*, von wo sie automatisch in die Rinne *d* entleert werden. Das Abfallventil *b* wird durch einen oscillierenden Hebel *f* betätigt, wobei beide durch ein Drahtseil *e* verbunden sind. Der Austrag *b* wird nach dem Überfall beim Konzentrator durch Anziehen oder Nachlassen des Drahtseiles geregelt. Die Kuppel des Konzentrators ist in Glas ausgeführt, so dass man den Vorgang im Innern gut übersehen kann und durch ein innen angebrachtes Brauserohr *c*, das durch *o* gespeist wird, kann jederzeit eine Spülung vorgenommen werden. *n* bezeichnet ein am Konzentrator angebrachtes Vakuummeter und *h* einen in die Pumpenleitung eingeschalteten Körper, der den Eintritt von eventl. mitgerissener Trübe in die Pumpe verhindert.



Figur 1.

Die zu dem Apparat gehörige Vakuumpumpe ist eine zweizylindrige Kolbenpumpe mit 6" x 6" und ca. 143 Touren in der Minute, und daraus ergibt sich das pro Minute ausgepumpte Gasvolumen rechnerisch für jeden Druck zu:

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 \cdot h \quad n.$$

worin bedeutet:

d den Zylinderdurchmesser
h „ Kolbenhub
n die Tourenzahl in der Minute.

Während das abgesaugte Gasvolumen für jeden Druck im Innern des Konzentrators dasselbe bleibt, ist das Gewicht des abgesaugten Gasquantums mit dem Vakuum variabel und steigt und fällt mit diesem.

Bei dem Apparate, der nach dem Prinzip der kommunicierenden Röhren arbeitet und bei dem also immer die eine Flüssigkeitssäule bis zu einem bestimmten Punkte mittels Luftdruckes gehoben werden soll, gelten die entsprechenden physikalischen Gesetze.

Für den folgenden Rechnungsgang bedeutet:
b = normaler Barometerstand des Ortes der Aufstellung des Apparates in m/m Quecksilbersäule,
l = nutzbare Rohrlänge (d—e) = absolute Saughöhe in m/m, (vergl. Figur 3)
g = spezifisches Gewicht der Trübe (als Einheit) genommen,
p = Prozentgehalt der Trübe an festen Bestandteilen,
a = Quecksilbersäule, welche einer Wassersäule von der Länge *l* entspricht,
x = absoluter Druck im Apparat in m/m Quecksilbersäule,
s = spezifisches Gewicht der suspendierten Teile.

Dann ist:

1. $a = \frac{l}{13{,}596}$ m/m;

2. $g = 1 + \frac{(s-1)\,p}{100} = 1 + f \,.\, p,$ 2a) $f = \frac{(s-1)}{100}$,

3. $g = \frac{b - x}{a}$,

4. $g = \frac{(b - x)\ 13{,}596}{l}$,

5. $x = b - \frac{g \,.\, l}{13{,}596}$ m/m,

Dabei bleibt noch zu berücksichtigen:
ein Faktor *F*, der sich zusammensetzt[18] aus einem solchen für die Spannung des über der Trübe lagernden Gemisches von Luft und Wasserdampf, eines für die Undichtigkeiten des Apparates, die Reibung der Trübe in dem Steigrohr und eines weiteren, dadurch bedingt, daß die aufsteigenden Luftbläschen das durchschnittliche spezifische Gewicht der Trübe als Einheit genommen herabsetzt, somit

6. $x = F \left[b - \frac{(1 + f.p)\ l}{13{,}596} \right]$ m/m.

Bei dem Vorgang des Prozesses ist nun zu beachten, daß der eigentliche Zweck der Vakuumpumpe der ist, die in der Trübe gelöste Luft dem Wasser zu entziehen und durch Anlagerung der Gasbläschen an die eingeölten Mineralteile diese bei ihrem Aufstiege zu unterstützen.

Was nun die Gasentwicklung aus der Trübe im Steigrohr selbst anlangt, so findet diese natürlicherweise vom Nullpunkte, dem verminderten Drucke direkt proportional folgend, statt. Denkt man sich die in der Trübe gelösten Gasmoleküle eins mit den festen Mineralteilchen, indem sie sozusagen die Oberfläche des Minerals mit einem ihrer Größe und Wegelänge entsprechenden Film umgeben, so ergibt sich mit der im Steigrohr stattfindenden Verminderung des Druckes der Höhe nach eine Ausdehnung der einhüllenden Haut, was bedeutet, daß der gemeinsame Durchmesser von Mineral und Gashülle wächst. Auf Grund der Gasgesetze und unter Zugrundelegung des spezifischen Gewichts der schwersten sulfidischen Mineralteilchen läßt sich nun bestimmen, bei welcher Höhe eines Steigrohres l unter Vakuum die Gasblase derart an Valumen zugenommen hat, daß sie imstande ist, das Mineralteilchen schwebend zu erhalten. Dies ist der Fall, wenn das gemeinsame Gewicht von Mineralkorn plus Gasblase den gleichen Wert besitzt, wie das Medium, in dem es schwebt, in diesem Falle Wasser, also 1.

Der dem Volumen proportionale Druck muß, damit die Bedingung des Schwebens erfüllt wird, auf den Wert von

$$\frac{b}{\gamma - 1} \text{ m/m Quecksilbersäule}$$

fallen. Hiernach ergibt sich:

10. $l = b - \frac{b}{\gamma - 1} \,.\, 13{,}596$ m/m Wassersäule

11. $l = b - \frac{\gamma - 2}{\gamma - 1} \,.\, 13{,}596$ m/m

18) Hütte I S. 322—323 20. Auflage.

Der Wert von l ist aber die nutzbare Länge des Steigrohres für den Fall, als man mit der erreichten Tragfähigkeit der Gasblase das Mineralsulfid aus dem Prozeß durch Überfall ausscheiden will.

Sonstige Faktoren, wie Verschiedenheit der Trübedichte von dem Wert g, die Trübegeschwindigkeit, das Gewicht der über der Flüssigkeit lagernden Luft, sind ihrer untergeordneten Bedeutung wegen unberücksichtigt. Diese Coeffecienten wirken überwiegend günstig und bedingen höchstens eine Verkürzung der Saughöhe, so dass also nach obiger Gleichung 11. gefundene Längen Maximalmasse darstellen. Als Wert für γ ist der des spezifisch schwersten Flotationsminerals zu wählen.

Die Schwimmfähigkeit aller für die Flotation geeigneten Mineralien beruht auf dem Verhalten ihrer Oberfläche zu bestimmten Flüssigkeiten im speziellen zu Wasser und zu gewissen Ölen.

Die Begründung der Theorie über die Oberflächenspannung für diese Prozesse verdanken wir den Untersuchungen von Huntington, Swinburne und Rudorf, die in der Faraday Society am 12. Dezember 1905 darüber sprachen. Ihre Folgerungen gipfelten im Folgenden:

Der Winkel, welchen eine bestimmte Flüssigkeit mit einem bestimmten festen Körper bildet, ist eine Konstante und zugleich ein Mass des Grades, in welchem er von der Flüssigkeit genässt wird. Bestimmt man also die Nässung eines Körpers durch den Berührungswinkel mit einer Flüssigkeit, so hat man gleichzeitig ein Mass für die Benetzung. Je grösser der Winkel, desto grösser die Nässung und kleiner die Oberflächenspannung und umgekehrt.

Es dürfte nun von einigem Interesse sein, auf die Beziehungen der Gesetze der Kapillarität zu diesem neuen Aufbereitungsprozess einzugehen.

Die Theorie der Kapillaritätserscheinungen zeigt, dass dieselben wesentlich von zwei Grössen als abhängig angesehen werden können. Von diesen ist die eine die Oberflächenspannung, ein Mass für die Kohäsion der Flüssigkeit, also ein Charakteristikum ihrer selbst ohne Rücksicht auf einen anderen anwesenden Körper, die andere eine Grösse, die durch das Verhältnis der Adhäsion an einen anderen Körper, speziell also Mineralien, und der Kohäsion der Flüssigkeit gegeben ist. Es genügt daher nicht, einen dieser Werte zur Erörterung der bei den Flotationsprozessen auftretenden Erscheinungen zur Erklärung derselben heranzuziehen, wie dies von Huntington einerseits und von Glatzel[19] andererseits getan worden ist, indem ersterer den Berührungswinkel ϑ, letzterer die Spannung α auswertete.

Die Gesetze über die Oberflächenspannung an den gemeinsamen Grenzen zweier Flüssigkeiten und über die Ausbreitung von Flüssigkeiten auf festen Körpern geben die gewünschte Aufklärung über die den Ölprozessen zu Grunde liegenden physikalischen Gesetze[20].

Untersucht man die Vorgänge[21], welche eintreten können, wenn die flüssigen Phasen, die chemisch miteinander m Gleichgewicht sind, zusammengebracht werden, so ergibt sich je nach den Grenzflächenspannungen $\alpha_{1,2}$, $\alpha_{2,3}$ und $\alpha_{3,1}$ folgendes; entweder

1. Die drei Phasen treffen in einer gemeinschaftlichen Kante zusammen, oder
2. eine der Phasen breitet sich zwischen den beiden anderen aus und trennt diese vollständig voneinander.

Im ersteren Falle ist keiner der Werte von α grösser als die Summe der beiden anderen, im zweiten Falle muss des für einen der Werte von α zutreffen. Ist z. B. $\alpha_{1,2} > \alpha_{1,3}$ und $\alpha_{3,1}$, so wird sich die Phase 3 zwischen 1 und 2 ausbreiten. Ist eine der drei Phasen z. B. 3 fest und die beiden anderen flüssig, so sind dieselben beiden Möglichkeiten zu unterscheiden, mit dem Unterschied aber, dass jetzt, wenn $\alpha_{1,2} > \alpha_{2,3} + \alpha_{3,2}$ eine Ausbreitung von drei zwischen 1 und 2 nicht möglich ist. Die Phase 3 wird sich in der Trennungsfläche von 1 und 2 ansammeln.

---

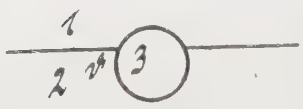
19) Glatzel. Ein Beitrag zum Elmore'schen Extraktionsprozess. Diss. Freiberg.
20) Wüllner, Experimentalphysik I S. 81 u. 82.
21) W. Reinders, Kolloid-Zeitschrift XIII, 1913 S. 233—241.

Denken wir uns die Phase 3 in der Form einer kleinen Kugel, so wird Gleichgewicht sein, wenn

$$\alpha_{1,3} = \alpha_{2,3} + \alpha_{1,2} \cos \vartheta$$

Ist $\alpha_{1,3} > \alpha_{2,3}$, so ist cos. ϑ positiv und $\vartheta < 90^0$. Der größere Teil von 3 wird dann umhüllt von der Flüssigkeit 2. Ist $\alpha_{1,3} < \alpha_{2,3}$, so ist cos ϑ negativ, ϑ also $> 90^0$, und der größere Teil von 3 wird in die Flüssigkeit 1 gezogen.

Wird nun der Suspension eines Körpers 3 in der Flüssigkeit 1 eine zweite nicht mischbare Flüssigkeit zugesetzt, so stellt sich ein physisches Gleichgewicht ein, das dreierlei Art sein kann:



Figur 2.

a) $\alpha_{2,3} > \alpha_{1,2} + \alpha_{1,3}$. Der feste Stoff bleibt gänzlich von der Flüssigkeit 1 umhüllt.

b) $\alpha_{1,3} > \alpha_{1,3} + \alpha_{2,3}$. Die Phase 3 wird völlig von 2 umhüllt. Der feste Körper geht also von der ersten Flüssigkeit in die zweite über.

c) Ist $\alpha_{1,2} > \alpha_{2,3} + \alpha_{3,1}$, oder keine der drei Spannen größer als die Summe der beiden anderen, so sammelt sich das Pulver an der Trennungsfläche der beiden Flüssigkeiten an.

Die Untersuchung zeigt somit, daß, falls sich zwei verschiedene feste Stoffe (Mineralien) zwei Flüssigkeiten gegenüber nicht gleich verhalten, auf diesem Unterschied ein Trennungsprinzip basiert werden kann, ferner im speziellen, je geringer die Nässung eines Minerals mit Wasser ist, es um so besser für die Flotation sich eignen wird.

Von einer Aufstellung aller bisher als schwimmfähig gefundenen Mineralien und Erze wird an dieser Stelle abgesehen und auf die verschiedentlich aufgeführten Tabellen verwiesen.[22]

Da die Berührungswinkel bei allen Sulfiden für das gleiche Medium nicht denselben numerischen Wert haben, so ist vom theoretischen Standpunkt aus infolge des dadurch differenzierten Schwimmvermögens auch eine Trennung verschiedener Sulfide untereinander möglich. Man könnte daher alle Mineralien sehr gut in einer Reihe aufzählen, auf deren einer Seite mit einem allmählichen Übergang die vollständig genäßten Glieder stehen, während auf der anderen Seite solche sich befinden, die nur äußerst wenig und weiter gar nicht mehr benetzt werden. Also etwa Quarz, Spateisenstein, Malachit, Eisenglimmer, Pyrit, Zinkblende, Kupferkies, Bleiglanz, Antimonglanz, Molybdänglanz, Graphit — wobei natürlich Wasser als benetzendes Medium vorausgesetzt ist. Lösungen und andere Flüssigkeiten bieten andere eventuell sogar umgekehrte Verhältnisse.

Für die meisten Ölprozesse bleibt aber noch zn beachten, daß man es in Wirklichkeit nicht mit drei, sondern vier verschiedenen Phasen zu tun hat und demgemäß in der Rechnung zu berücksichtigen sind. Zu den aufgeführten zwei flüssigen und einer festen Phase kommt noch eine gasförmige, welche entweder als absichtlich erzeugte Kohlensäure oder aus dem Wasser befreite Luft und schließlich noch in der über dem System lagernden Atmosphäre zu berücksichtigen wäre.

Für den Elmore-Vakuum-Prozeß im speziellen gilt, daß bei der mechanischen Arbeit im Mischer zwei flüssige Phasen (Wasser und Öl) und eine feste (das zu behandelnde Mineral) zugrunde liegen, bei der nachfolgenden Behandlung im Vakuum eine flüssige Phase (Wasser), eine kombiniert flüssig-feste, Öl-Sulfid, und eine gasförmige Phase, die aus dem Wasser befreite Luft zu berücksichtigen sind. Hierbei ist bei der Berechnung der Grenzflächenspannung der kombinierten Phase Öl-Sulfid der Wert des Öles allein gegenüber Wasser und Gas zu berücksichtigen, da die Oberfläche des Sulfides als vollständig mit jenem überzogen angenommen werden kann.

Wird in Fig. 1 das Öl mit 1, das Wasser mit 2 bezeichnet, so besteht die Arbeit des Mischers für das Sulfid in dem Vorgang a, für die Gangart in dem unter b angegebenen.

Ist dagegen die kombinierte Phase flüssig-fest aus Öl + Sulfid 3, das Wasser

22) Metallurgie 1908 S. 5, 46, 95.

wiederum 2 und das Gas 1, so führt der Konzentrator die unter a bezeichnete Arbeit aus. Die kombinierte Phase wird von dem Gas abgenommen und bildet mit diesem zusammen einen Schaum.

Die an und für sich recht klaren Beziehungen werden nun nicht unerheblich beeinflußt durch äußerlich sehr gering erscheinende Faktoren. Bereits Poisson, Wilhelmy und Quincke erkannten die erheblichen Einflüsse, die durch Verdichtung von Gasen etc. auf der Oberfläche und durch deren Beschaffenheit an festen Körpern hervorgerufen werden. Außerdem sind die Schwierigkeiten unter den obwaltenden Umständen für die exakten Bestimmungen der Konstanten α und ψ noch derart beträchtliche, daß man für alle Fälle sich wohl immer mit relativen Werten abfinden wird, ganz gleich, ob für die praktische Ausführung der einzelnen Prozesse, Lösungen, Öle, Gase[23] etc. benutzt werden.

Bei der Menge des vorhandenen Analysenmaterials, — es wurden regelmäßig die ganze Zeit hindurch täglich zweimal Proben und Aufgaben, Konzentrate und Tailings außer denen von speziellen Versuchen genommen, — ist es nur möglich, beliebig herausgegriffene Stichproben zu geben.

Die Öluntersuchungen erscheinen auch vom ökonomischen Standpunkte aus bedeutungsvoll, da das Texasöl ungefähr doppelt so hoch im Preise zu stehen kam, als Rohöle inländischer (österreichischer) Provenienz.

Es ist bekannt, daß es hauptsächlich Mineralöle sind, denen die günstige Eigenschaft der Verwendbarkeit für den Ölaufbereitungsprozeß zukommt. Elmore selbst hat natürlich eine ganze Reihe Öle aller Art auf ihre Brauchbarkeit hin untersucht und zählt auf als solche: „Kalifornisches und Texasöl, Texas-Brennöl, russische Rohöle und solche aus Borneo und Sumatra, ferner Puröle, Olivenölabfälle, Ölsäure und viele billige leichte Mineral-, Pflanzen- und Fischöle[24].

Die Wichtigkeit eines guten Arbeitsganges des Apparates ist in dem speziellen Fall, wo etwaige Lizenzgebühren pro Tonne Conventrate bemessen sind, besonders gegeben, wenn man anstrebt, den prozentualen Metallgehalt des Concentrates möglichst hoch und die Verluste dabei doch so niedrig als möglich zu halten. Es ist klar, daß für das günstigte Arbeiten eines solchen Typenapparates vor allem sein Größenverhältnis der Aufgabemenge angepaßt sein muß. Gerade dieser Faktor spielt eine sehr erhebliche Rolle.

Jedenfalls ging aus allen Versuchen hervor, daß das Optimum für den gegebenen Apparat je nach der Concentration der aufgegebenen Trübe 20—40 tons feste Bestandteile pro 24 Stunden beträgt.

Die Aufgabe bestand in der alten Aufbereitung genannter Gesellschaft aus Korn von etwa $^3/_4$ m/m abwärts, wie es die Klassierung mittels Spitzlutten und Stromapparaten als Austrag lieferte und aus spätigen Mittelprodukten der Stoß- und Schüttelherde, in der neuen Anlage aus den feinsten Zeugen der Klassierung, den schwimmenden Teilen auf den Herdtafeln[25] und aus den vermahlenen Mittelprodukten der Schüttelherde, welche im letzteren Falle um bedeutendes feiner waren als früher. Jedoch war in beiden Fällen die Art und das Mengenverhältnis des zu verarbeitenden Mineralgemenges gleich und dürfte durchschnittlich etwa folgende Zusammensetzung gehabt haben:

ca. 35 % Quarz
„ 30 % Schiefer (Chlorit- und Sericitschiefer)
„ 13 % Ankerit
„ 10 % Spateisenstein
„ 7 % Pyrit
„ 5 % Kupferkies
Spuren von Apsennickelkies, Eisenglimmer etc.

Von den angeführten sind also nur die drei letzten Gruppen für die Flotation geeignet.

23) Kenneth. A. Mickle. Eng. & Min. Journ. 1911, II. S. 307—310 u. 1912 II 71—76.
24) Referat aus Eng. u. Min. Journ. in Metallurgie 1907 S. 499.
25) Metallurgie 1912 S. 99—102.

Unter Berücksichtigung der Mengenverhältnisse, die der Apparat jeweilig als Aufgabe erhielt, wurden Texasöl und Schwefelsäure nach einer empirisch bestimmten Skala zugegeben und war für je 31.725 kg (Trockengewicht) pro Minute zu verarbeitendes Erz 107 ccm Öl und 755 ccm verdünnte Schwefelsäure (bestehend aus einer Mischung von 10 % cond. Schwefelsäure und 90 % Wasser der Vol. nach.

Die jeweilige Bestimmung der Aufgabemenge geschah in der Weise, dass die bei einem Ventilhub des dem Mischer vorgeschalteten intermittierend arbeitenden Spitzkastens ausströmende Trübe nach Absperrrung des Zuflusses zum Mischer in einem Eimer aufgefangen wurde. Nach dem Absetzen der festen Bestandteile konnte das überstehende Wasser mit Hilfe eines Schlauches abgezogen werden, worauf sie über einem Feuer getrocknet wurden. Das Ventil machte je nach Einstellung 5—6 Hub pro Minute, woraus sich nach Abwiegen des getrockneten Materials mit Hilfe einer kurzen Rechnung die Aufgabemenge pro Minute ergibt. Der Zusatz von Öl und Säure erfolgte dann continuierlich durch schwache Rohrleitungen *p* und *n* auf der Aufgabeseite des Mischers, nachdem die richtigen aus einer Tabelle sich ergebenden Mengen zuvor mittels Masszylinders kontrolliert und die Hähne eingestellt waren. Bei dem Apparat hat man es nun mittels eines einfachen mechanischen Hilfsmittels in der Hand, Konzentrate von höherem oder geringerem Metallgehalt durch entsprechenden Überfall, Vergrösserung oder Verringerung der Menge beim Glaszylinder zu erzielen, natürlich auf Kosten der Abgänge. So ergaben Versuche mit einer Aufgabe von 1,81 % Cu bei geringer Uberfallmenge:

Concentrat 20,21 % Cu
Tailings 0,67 % Cu
bei grösserem Ueberfall:
Concentrat 6,85 % Cu
Tailings 0.35 % Cu

Dem entspricht bei richtig eingestellter Überfallmenge:
Concentrat von 15,05 % Cu
Tailings „ 0,42 % Cu

In dem Bestreben, das teure Texasöl durch ein billigeres zu ersetzen, ergab sich sehr bald, dass ein ihm in der Zusammensetzung gleiches oder ähnliches vorerst

Die Versuchsergebnisse mit Ölen bei Anwendung von Schwefelsäure unter Berücksichtigung des spec. Gewichts, der Viskosität und der Temperaturverhältnisse bei ca. 10 % Trübeconcentration. 1 = 8000 m/m.

Ölgattung (Quantum n. Tabelle)	Angewendete Säure	Zahl der btr. Värs	Kupferinhalt d Aufgabe % Cu	Kupferinhalt d. Tailings % Cu	Kupferinhalt d. Concent. % Cu	spec. Gewicht	Viskosität i. Engl. "	Temp in Cels.	Ausbringen i. %	Bemerkungen
Texasöl	H_2SO_4 in	5	1.54	0.57	14.82	0.949	230	4–5	65.50	in dünner Schicht dunkelbraun
do.	normaler	20	1.79	0.42	14.15	0.946	150	8–9	83.22	
Vulkanöl B	Menge	11	1.80	1.03	15.13	0.954	ca. 500	4 4	55.90	
do. B	nach	12	1.65	0.48	12.93	0.945	135	7–8	73.64	in dünner Schicht braun-grünlich schimmernd
do. & 4 % Petroleum	Tabelle	10	1.56	0.43	14.48	0.945	99	5–6	79.40	
do. & Petroleum 68/32		10	1.42	0.50	11.52	0.908	7.7	7–10	67.73	
Blauöl B		4	1.49	0.50	13.94	0.906	7.6	4 6	69.94	bräunlich blau schillernd
do. B		5	1.76	0.64	16.77	0.905	6.6	8 3	66.16	
do. & Vulkanöl & Petr.		8	1.50	0.45	11.96	0.905	5.8	4 5–6	72.74	112 Vulkanöl + 80 Petroleum + 180 Blauöl
Dieselmotorenöl		15	1.93	0.97	7.55	0.900	5	6 6	65.90	
Simmeringöl		2	1.36	0.70	16.20	0.935	unbestimmb.	4 5	59.94	bläulich schillernd
do.		26	2.13	0.73	10.71	0.918	12	7 8	70.53	in dünner Schicht braun, unangenehm riechend
rumänisches Öl		2	1.58	0.44	13.75	0.938	135	4 5	74.53	in dünner Schicht dunkelbraun
do.		2	1.60	0.37	13.45	0.934	89	8	80.82	
Schmieröl		1	1.45	0.97	9.24	0.928	346	8 8	36.99	mit wahrscheinl. Leinölgehalt
Leinöl		1	1.52	1.02	5.81	0.938	13 5	7 2	39.89	
Ohne Öl		1	1.34	0.82	5.71			8 5	34.33	

Tabelle I.

nicht zu erhalten war. Nicht unbeeinflusst durch die Untersuchungen Glatzels, die sich aber auf den alten Prozess beziehen, wurde anfangs dem spezifischen Gewicht eine gewisse Bedeutung beigemessen und Wert auf ein solches von möglichst niedrigem spezifischen Gewicht gelegt. Da die Öle von geringem spezifischen Gewicht nicht zur Hand waren, kam ich dazu, solche durch Mischen von schwereren Ölen mit dem leichten Petroleum (spez. Gewicht 0,83) herzustellen. Leichtere Verteilbarkeit derselben infolge ihrer grösseren Flüssigkeit schienen ebenfalls dafür zu sprechen. Die gefundenen Resultate sind aus Tabelle Nr. I neben anderen ersichtlich. Bei der Bestimmung der spezifischen Gewichte bei den verschiedenen Temperaturen fielen allgemein die starke Abnahme derselben und im Zusammenhang damit die beträchtlichen Ausdehnungskoeffecienten auf. Es ergab sich somit die Bestätigung, dass das spezifische Gewicht keine Bedeutung für einen günstigen Gang des Prozesses hat. Die weitere Folge davon war, die übrigen Eigenschaften der Oele auf ihre günstige Wirkung bei dem Elmoreprozess zu studieren. Es entsprach durchaus dem Gedankengange, wenn ich zunächst auf andere bekannte physikalische Eigenschaften verfiel und dabei der Viskosität nicht unerhebliche Bedeutung beimass. Es wurden die Viskositäten des Texasöles sowie aller bisher in Verwendung gewesenen von den niederen Temperaturen etwa 4° anfangend um ca. 2—3° C steigend bis zu ca. 50° C mit Hilfe des Englerschen Viskositätsmessers bestimmt und desgleichen auch die Gemische dick- und dünnflüssiger Öle, welche für die Erprobung des spezifischen Gewichtes hergestellt waren, untersucht. Danach kommt das Vulkanöl dem Texasöl ziffernmässig in dieser Eigenschaft am nächsten, dann ziemlich gleich damit ein rumänisches Öl, und entfernt davon alle übrigen. Aus Tabelle I, welche die Versuchsergebnisse zusammenfasst, ergibt sich, dass, gleiche Temperatur und gleiche Trübekonzentration vorausgesetzt, nicht gleiche Resultate sich ergeben, dass dünnflüssigere Öle zum Beispiel bei niederen Temperaturen gleich gute Ergebnisse zeitigen können. Die Viskositätskurven des Texas-, Blau-, Vulkan-rumänischen, Dieselmotoren- und Leinöls zeigen auch hier in die bestehende einheitliche Zusammensetzung der Öle, anders beim Simmeringöl, dem Vulkanöl—Petroleumgemisch, wo sich Knickpunkte in den Kurven vorfinden. In beiden Fällen dürften Ausscheidungen von Bestandteilen die Ursache davon sein, welche beim Simmeringöl als Paraffin mit Bestimmtheit erkannt wurden. Vergleicht man die in Tabelle I erhaltenen Resultate, so ersieht man, dass die für den Prozess noch günstig wirkenden Öle eine Viskosität aufweisen, die bei den Versuchstemperaturen von 4—10° unbeschadet des höheren Ausbringens bei der Mischung Vulkan-, Blauöl-Petroleum im allgemeinen zwischen 20—160° Engler aufweisen ohne Einfluss des spezifischen Gewichtes, wobei in gewisser Beziehung, nämlich bei niederer Temperatur also etwa 4—5° das dünnflüssigere dem viskoseren vorzuziehen ist, ferner dass partielle Ausscheidungen von Stoffen höchst nachteilig wirken. Die Viskosität einer Flüssigkeit ist gleichbedeutend mit der inneren Reibung derselben. Die in dem willkürlichen Masse des Englergrades bestimmten Zähigkeiten lassen sich leicht mit der von Ubbelohde angegebenen Umrechnungsformel[26] in die spezifischen Zähigkeiten, bezogen auf Wasser, umrechnen.

Die innere Reibung einer Flüssigkeit η_i ist ebenfalls eine Eigenschaft, die mit den Gesetzen der Kapillarität im Zusammenhang steht. Dieser Faktor η_i, der in keinem gesetzmäßigen Zusammenhang mit den beiden anderen α und ϑ steht, ist, wie alle Reibungskoeffecienten mit dem Begriff der Geschwindigkeit aufs innigste verknüpft, d. h., je geringer dieser Reibungskoeffecient, desto schneller geht die Verteilung des Öles im Mischer von statten, desto größer in der Zeiteinheit die Leistung desselben oder bei gleicher Menge zu behandelnden Materials, desto intensiver die Einölung. Und da die Viskosität, wie aus Tabelle I zu ersehen ist, mit steigender Temperatur sehr stark abnimmt, so ist infolgedessen unter sonst gleichen Verhältnissen aus rein theoretischen Gründen die Arbeit bei erhöhter Temperatur der bei niederer vorzuziehen. Ferner spricht dafür, daß die Werte von α und ϑ mit steigender Temperatur sich gegenüber η wenig verändern.

26) Holde. Untersuchung der Mineralöle und Fette 3. Aufl. S. 118.

Es wurden noch Untersuchungen vorgenommen um die etwa vorhandene Abhängigkeit der Verwendbarkeit der Öle von ihrer chemischen Zusammensetzung festzustellen. Asphalt und Fettöle wurden bei allen höchstens in Spuren konstatiert. Die nach Holde vorgenommenen Paraffinbestimmungen ergaben beträchtliche Unterschiede in den Gehalten. Während das Vulkan-, Blau- und besonders Simmeringöl verhältnismäßig bedeutende Mengen an Paraffin bis zu etwa 6 % zeigten, war dieser Gehalt bei dem Texas- und dem rumänischen Öl gering, bis gegen 1 %. Beide letzteren verrieten jedoch durch ihren Geruch einen Gehalt an Terpenen, deren Anwesenheit auch durch Bromobsorption konstatiert wurde. Das günstige Verhalten beider bei Anwendung stimmt mit der Beobachtung überein, daß Abkömmlinge der Reihe der Terpene, wie Eukalyptusöl, Lavendelöl etc.[27] auch sonst als besonders geeignet befunden wurden.

Im Anschluß hieran darf nicht unerwähnt bleiben, daß auch gewisse Alkohole, wie Amyl- und Butylalkohol[28] sowie Amylacetat ein ganz besonders Eignungsvermögen für die Anwendung bei Flotationsprozessen mit sulfidischen Erzen aufweisen. Versuche damit wurden jedoch nur in kleinem Maßstabe gemacht.

Obwohl von vornherein bekannt war, daß Leinöl und ähnliche Öle für die Flotation unbrauchbar sind, erforderte es doch die Vollständigkeit der Versuchsreihe, auch die Ergebnisse mit diesen ziffernmäßig zur Hand zu haben, und weiterhin resultierte ein Versuch ohne Anwendung von Öl. Beim Vergleich der angeführten Daten in Tab. I über Leinöl, Schmieröl und ohne Öl fällt sofort die Gleichheit inbezug auf das Ausbringen auf. Der Erfolg bei Zusatz eines Öles von der Art des Leinöles ist also weder positiv noch negativ, sondern genau gleich Null. Der Elmoreapparat arbeitet beim Gebrauch von leinölartigen Ölen genau so als ob gar kein Oelzusatz stattgefunden hätte, diese Art Öl ist also indifferent.

Dieser Versuch erläutert demnach sehr gut die im Anfang gegebene Theorie der Benetzung und somit der Flotationsprozesse. Lassen sich auch die Werte der Grenzflächenspannungen durch Messen nur umständlich bestimmen, so zeigten doch die Versuche mit Leinöl und dem leinölhaltigen Schmieröl im Reagenzglas beim Schütteln mit Wasser, daß die sonst zu beobachtende scharfe Trennung der Flüssigkeitsschichten nicht bestand, sondern daß nach einiger Zeit der Ruhe eine unklare, trübe Zone zwischen Wasser und Öl zu beobachten war. Daraus ergibt sich dann die Notwendigkeit, daß brauchbare Öle im Wasser klare Trennungsschichten ergeben sollen. Gelänge es nun noch, die eifrigst gesuchte, einfache physikalische Methode der einwandfreien Bestimmung des Adhäsionsgrades der so als brauchbar erkannten Mineralöle zum Erz zu finden, dann wäre ein Mittel an die Hand gegeben, diese ohne praktische Versuche ziffernmäßig ihrem Werte nach zu vergleichen.

Einige weitere Versuche sollten sich daher auch mit der Frage der Ölmenge befassen, indem diese bei gleichem Säuregehalte nach Möglichkeit variiert wurde. Ein Versuch ohne jeglichen Ölzusatz (siehe Tab. I) ergab ein Ausbringen von 34,33 %, womit der Zweck desselben begründet ist. Daraufhin wurde das Quantum nach oben unten abweichend von der zuvor empirisch gefundenen Menge verändert und fanden sich folgende Resultate:

Mit Vulkanöl bei 6—7° C., Trübekonzentration 1 : 10,

Ölzusatz 20 % weniger als nach der Normalskala

Aufgabe	1,79 % Cu
Tailings	0,50 % Cu
Concentrate	12,55 % Cu
Ausbringen	47,00 % Cu

Ölzusatz 20 % mehr nach der Normalskala

Aufgabe	1,67 % Cu
Tailings	0,49 % Cu
Concentrate	9,83 % Cu
Ausbringen	47,61 % Cu

27) Brit. Pat. 21857/1910. 28) D. R. P. 226096.

Unter Variation der Ölmengen nach Belieben und ebenfalls der Ölsorten erhält man schließlich doch immer, daß ein gewisses Quantum vorhanden sein muß, das durch Versuche festgelegt werden muß. Eine darüber hinaus gesteigerte Ölmenge hat ärmere Konzentrate zur Folge bei etwa gleichbleibendem Metallgehalt der Tailings. Eine verringerte Ölmenge erzeugt reiche Konzentrate, aber auch reichere Abgänge.

Es ist nun entschieden von Interesse, diejenigen Ölarten und Ölmengen, welche in anderen Anlagen angewendet werden, zu einem Vergleiche heranzuziehen. Die Verwendung des Texasöles ist, wie Tabelle II zeigt, allgemein. Andere Daten waren

Zusammenstellung über Öl- und Säure-Verbrauch beim Elmore-Prozess bei verschiedenen Erzen per ton Aufgabe.

Name des Erzes resp. der Grube	Die hauptsächlichsten Bestandteile der Aufgabe an Erz und Gangart	Art des benutzten Öls	Menge des Öles in kg	Art der verw. Säure	Menge der Säure in kg
Brokenhill Zinc Corporation Ltd NSW	Ag-haltiger Bleiglanz, Zinkblende, Granat, Rhodonit, Quarzit	Texas-fuel-oil	2,75-3,65	H_2SO_4 50°Bé	4,5-9,0
Telemarken Copper Mine, Norwegen	Kupferkies, Buntkupfererz, Hornblende, Glimmerschiefer, Quarz	„ „ „	6,0	„	3,0
Dolgelly Copper Mine, North Wales	Kupferkies und Pyrit in Tonschiefer mit Ag- und Au-Gehalt	„ „ „	3,0	„	4,5
Tywarnhale Copper Mine	Kupferkies u. Pyrit mit wenig Zinkblende	„ „ „	2,25	. . .	. . .
Dolcoath Mine, Cornwall, England	Cornwall Zinnerz durchsetzt mit Kupferkies	„ „ „	11,—	H_2SO_4 50°Bé	1,8
Sulitelma Kupfergruben, Norwegen	Kupferkies mit viel Pyrit, Glimmerschiefer	„ „ „	1,35	. . .	. . .
Mittenberger Kupfergruben	Kupferkies, Spateisenstein, Quarz, Tonschiefer, Ankerit	„ „ „	3,8	H_2SO_4 60°Bé	4,5

Tabelle II.

mir leider nicht zugänglich. Gleichzeitig ist ersichtlich, daß nicht etwa die pyritischen Erze die höchsten Ölzusätze erforderlich machen, sondern bei diesen, vergl. Sulitelma etc., verhältnismäßig sehr gering sind. Am günstigsten stehen Brokenhill Zinc Corporation, Tywarnhale und Sulitelma. Auffallenderweise sind es gerade diejenigen Werke, welche den Elmoreprozeß nicht im Anschluß an eine nasse Aufbereitung durchführen[28], sondern welche ihn als alleinigen Prozeß wie Tywarnhale etc. anwendeten. Dies bringt den großen Vorteil mit sich, daß sie die richtige Konzentration der Trübe viel leichter innehalten können, und daher vermute ich, daß bei ihnen eine hohe Konzentration der Trübe vorliegt. Infolgedessen möchte ich gerade diesem Faktor eine nicht unerhebliche Bedeutung beimessen, ohne jedoch den Einfluß rechnerisch verfolgen zu können, doch werde ich später auf die Frage der Konzentration sowie auf die Bedeutung des Feinheitsgrades an anderer Stelle zurückkommen.

Eine weitere wichtige Frage war die nach dem Zwecke des Zusatzes der Schwefelsäure, den Elmore für ein günstiges Arbeiten seines Apparates vorschreibt. Die Erkenntnis, dass Säuren die Flotation im günstigen Sinne beeinflussen, ist so alt wie die Verfahren selbst, ohne dass man sich jedoch meiner Ansicht nach klar über die Funktionen war, welche diese erfüllt. Für den Betrieb des Elmoreapparates ist es am günstigsten, wenn die Reaktion der Trübe bei ihrem Austritt aus dem Mischer eine saure ist. Die einst ausgesprochene Ansicht, dass sie eventl. auf den

28) Die Daten von Sulitelma beziehen sich noch auf die Zeit, wo die aus dem See gebaggerten Abgänge der nassen Aufbereitung verarbeitet wurden.

sulfidischen Erzen entstandene Oxydhäudchen entfernen soll, ist grundfalsch. In einem speziellen Fall, wo ich absichtlich oxydierten Kupferkies enthaltendes Material verarbeitete, erhielt ich bei einer Aufgabe von 0,76 % Cu, Tailings von 0,45 % Cu und Konzentrate von 9,21 % Cu, danach ein Ausbringen von ca. 43 %, was bei dem geringen Gehalt der Aufgabe nicht einmal als besonders schlecht zu bezeichnen ist. Vorkommen kann der Überzug mit einem Oxydhäutchen allerdings dann, wenn feine Erze längere Zeit im Freien gelagert haben und nun ohne Vermahlung verarbeitet werden, immerhin erhalten sie dann schon durch die beim Wassertransport vorhandene Reibung eine blanke Oberfläche. Die ebenfalls aufgestellte Behauptung, dass durch den Säurezusatz eine elevationsfähige Gasblasenbildung unter Entwicklung von Schwefelwasserstoff bewirkt wird, ist natürlich in Anbetracht der Reagentien und der Konzentration ausgeschlossen. Zu ganz merkwürdigen Resultaten ist Huntington[29] gelegentlich seiner Untersuchung über die Flotationsprozesse gekommen. Seine Betrachtungen beziehen sich zwar auf das Potter-Delprat-Verfahren und eine bei diesem höhere Säurekonzentration, doch kann ich trotzdem nicht verfehlen, dieselben an dieser Stelle etwas eingehender zu behandeln. Er sagt: »Durch meine Beschäftigung mit dem Gegenstand konnte ich beweisen, dass die zum Auftrieb Veranlassung gebende Kohlensäure in der Hauptsache aus Manganspat und Spateisenstein freigemacht wird und bestimmt nicht vom Calcit herrührt.« Er geht dann näher auf die Gründe ein und führt dabei Versuche an, unter den Gemische von Sulfiden mit Calcium-, Natrium-, Zink- oder Bleikarbonat keinen Auftrieb der Sulfide ergaben, während solche mit Mangan- oder Eisenkarbonat, wie ihn ja auch die speziell untersuchten Brokenhill-Erze enthalten, eine sehr gute Flotation erzeugten, wenn sie zugleich auf die Temperatur von 65° C, die Zersetzungstemperatur des Spateisensteins mit einer ca. 2 %igen Schwefelsäurelösung, wie sie beim Potterprozesse benutzt wurde, erhitzt werden. Ich muss gleich bemerken, dass ich die Ergebnisse aus eigener Anschauung ziemlich ganz bestätigen muss. Merkwürdig wäre es jedoch, wenn die aus Calcit erzeugte Kohlensäure andere Eigenschaften besitzen sollte als die aus Eisen oder Manganspat entwickelte.

Die beim Potter-Delprat-Verfahren stattfindende Gasentwicklung ist fördernd für den Prozess, indem die Sulfide durch sie zur Oberfläche gebracht werden, jedoch nicht ein integrierender Bestandteil zur Erzeugung des mineralischen Schwimmvermögens überhaupt.

Mit dem Freiwerden der Kohlensäure ist ein chemischer Vorgang verbunden:

$$FeCo_3 + H_2SO_4 = FeSO_4 + CO_2 + H_2O$$

Man könnte nun schliesslich sogar umgekehrt folgern:

Da zur Durchführung des Potter-Delprat-Verfahrens die Temperatur mindestens 65° betragen muss, liegen die Bedingungen für diesen Prozess bei der Bildung von Eisen- resp. Mangansulfat, welche eben bei dieser Temperatur aus den Karbonaten gebildet werden.

Die Annahme dieses Schlusses wäre ebenso unrichtig als die günstige Wirkung der Kohlensäure aus Eisen- resp. Mangankarbonat zuzuschreiben. Das Gas wirkt rein mechanisch, der chemische Vorgang ist von günstigem Einfluss auf den Wert von ϑ gegenüber dem Sulfid.

Mit Mitterberger Erzen vorgenommene Versuche, die bedeutende Mengen von Spateisenstein und nur geringe von Mangankarbonat aufweisen, erhielt ich unter Anwendung von Eisenvitriol in einer Konzentration von 5 % ganz befriedigende Resultate, und ich betone speziell, dass der beginnende Auftrieb der Sulfide jetzt schon bei etwa 33—35° C lag. Stärkere Lösungen bis etwa 12 % angewandt, wirkten entsprechend besser, desgleichen erwies sich eine Steigerung der Temperatur auch hier vorteilhaft. Die Versuche, welche allerdings nur im kleinen Massstabe bis etwa 0,5 kg in grossen Porzellanschalen vorgenommen wurden, ergaben des weiteren, dass die Sulfate des Kupfers und Zinks in gleichem Sinne wirkten, wenn nur die angegebene Temperatur erreicht wurde und hinreichende Konzentration an Sulfat

29) Metallurgie, 1907 S. 544.

Schwemmversuche mit Eisenvitriol-Lösungen.

No.	Aufgabe			Concentrat		Abgänge		Ausbringen i. %	Säureconcentration %	Ölverbrauch i. ccm	Trübe conc. % f. Best	Temp. i. C°	Bemerkungen
	Material	Menge in kg	% Cu	Menge in kg	% Cu	Menge in kg	% Cu						
1	Elmore-Tailings	25.5	0.95	0.37	27.6	ca. 25	0.55	42.2	. . .	. . .	8.0	50	Ferrosulfatlösung 10 –12 %ig wie vorher 1. mit 10—12% iger Ferrosulfatlösung 2. nach Abhub des Concentrats I unter Zusatz von Öl und Säure in normaler Menge.
2	Elmore-Tailings	18.6	0.91	0.59	13.7	ca. 18	0.45	47.8	. . .	40	8.0	50	
3	Herdzeuge	30.0	1.45	10.66	28.2	ca. 28 6	0.72	42.8	. . .	. . .	12	60-70	
				II 0.68	4.7			7.5	0.50	60		45-50	

Tabelle III.

vorhanden war. Zugleich zeigte sich in der Art des Auftriebes und der Fixierung der sulfidischen Konzentrate ein wesentlicher Unterschied. Während die durch Säureentwicklung hochgebrachten Sulfide sich an der Oberfläche auf der Sphäre der Gasblasen ansammeln, bedecken die mit Hilfe von Vitriolen erzeugten Sulfide die Oberfläche mit einem glänzenden, blasenfreien Film, den sie in grösster Reinheit bilden. Es ergab sich bei einem Versuch, mit 300 g festen Bestandteilen der Aufgabe des Elmoreapparates von 1,45 % Kupfer und einer 5 %tigen $FeSO_4$-Lösung und ca. 45° C nach dem Umrühren in einer grossen, flachen Porzellanschale:

Abgänge von 0,22 % Cu und ein Konzentrat von 24,52 % Cu. Gerade in der Beschaffenheit der erzeugten Konzentrate zeigt sich so recht, daß die Elevationsfähigkeit eines Gases bei diesem Prozesse, bei dem Gasentwicklung gar nicht stattfindet, nicht notwendig ist, und wir es lediglich mit einer veränderten Oberflächenspannung einer Metallsalzlösung gegenüber den Sulfiden zu tun haben. Positive Erfolge wurden erzielt mit Eisen-, Kupfer- und Zinksulfat, negative mit den löslichen Salzen und Hydroxyden der Alkali- und Alkalierdmetalle. Bemerkenswert ist jedoch, daß eine Temperaturerhöhung auf 33—35° C stattfinden muß, woraus es auch erklärlich wird, daß Huntington mit dem Karbonat von Zink, das sich, wie er selbst hervorhebt, in kalter Temperatur zersetzt, kein Auftrieb zustande kommt. Seine Mißerfolge mit Bleikarbonat unter Anwendung von Schwefelsäure resultieren danach aus der Unlöslichkeit des Sulfates in Wasser und dem damit in Zusammenhang zu bringenden veränderten Zustand desselben. Inwieweit jedoch dieses Verfahren der Flotation unter Anwendung von Vitriolen zu einer selbständigen Entwicklung fähig ist, kann nicht vorausgesehen werden, doch sind die Aussichten in Anbetracht bereits bestehender guter Prozesse mit der diffizilen Handhabung des Films trotz der hervorragenden Reinheit der Konzentrate nicht allzu bedeutend.

Diese Betrachtungen und Untersuchungen schlossen sich lediglich in den Rahmen, welcher der Bedeutung des Säurezusatzes beim Elmore-Vakuum-Prozeß gewidmet ist.

Viel wichtiger ist die Ansicht, daß der Zusatz der Schwefelsäure neben anderem eine Vermehrung der an und für sich schon durch das Vakuum hervorgerufenen Entwicklung von Gasblasen aus dem Wasser bewirken soll. Erklärungen, die die Zersetzung vorhandener Mineralkarbonate, wie sie sich ja wohl bei allen sulfidischen Erzen als mehr oder weniger große Beimengen finden, sind in Anbetracht der geringen Konzentration an Säure und bei der vorhandenen niederen Temperatur beim Elmore-Prozeß unzulänglich. Eine Untersuchung der von der Vakuumpumpe ausgstoßenen Luft ergab einen Kohlensäuregehalt von 1,48 %, welcher nach Pettenkofer bestimmt wurde. Demgegenüber betrug der CO_2-Gehalt der Atmosphäre in der Umgebung nur etwa 0,04 %. Dieser CO_2-Gehalt konnte ebensowohl von der in der Trübe gelösten, freien Kohlensäure, die ja bekanntlich in viel höherem Grade in Wasser löslich ist als Stickstoff und Sauerstoff, herrühren, als auch aus einer Zersetzung des im Wasser vorhandenen Bikarbonates durch die Schwefelsäure nach der Gleichung:

$$CaCO_3H_2CO_3 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2CO_2 + 2H_2O.$$

Um zu einer Entscheidung der Frage zu gelangen, ob für den Elmore-Vakuum-

Prozeß auch außer der freien Kohlensäure etwa die halbgebundene nutzbar gemacht würde, bedurfte es einiger analytischer Bestimmungen:

Es fand sich in 1 Liter filtrierter Trübe der Aufgabe vor dem Mischer:

freie und halbgebundene Kohlensäure	0,650 g
freie „	0,440 g
somit halbgebundene „	0,210 g

und ferner in 1 Liter filtrierter Trübe von den Abgängen unter Berücksichtigung der inzwischen zugesetzten Schwefelsäure:

freie und halbgebundene Kohlensäure	0,490 g
freie „	0,350 g
somit halbgebundene „	0,140 g

Aus diesen Bestimmungen, die der Sicherheit halber verschiedentlich wiederholt wurden, ging hervor, daß die von der Vakuumpumpe ausgestoßene kohlensäurereiche Luft nicht einzig von der im Wasser gelösten freien Kohlensäure herrührt, sondern ein Teil entschieden von der halbgebundenen stammt. Damit ist zwar die Teilnahme des gelösten Bikarbonats gegeben, doch kann die Zersetzung ebensowohl durch den Zusatz der Schwefelsäure als auch durch die intensive Behandlung im Mischer, wo recht viel Luft in die Trübe hineingepeitscht wird, erfolgt sein. Von einer noch weiteren Verfolgung des Vorganges wurde in Anbetracht der geringen Bedeutung abgesehen. Im übrigen ist der vermehrte Kohlensäuregehalt der dem Apparate entzogenen Luft durch die größere Löslichkeit dieses Gases gegenüber Sauerstoff und Stickstoff sehr leicht erklärt. Eine Zersetzung des vorhandenen Mineralkarbonates ist in Anbetracht der geringen Säurekonzentration ausgeschlossen.

Die Versuchsergebnisse mit diversen Ölen bei Benutzung von SO_2-haltigem Wasser unter Berücksichtigung der Temperaturverhältnisse.

Ölgattung	Angewendete Säure	Zahl der betrachteten Vers.	Kupferinhalt der Aufgabe	Kupferinhalt der Taclings	Kupferinhalt des Concentrats	Temp. in C⁰	Ausbringen %
Vulkanöl B	SO_2haltiges	8	1.85	0.86	24.59	5—6	55.45
Blauöl B	H_2O,	4	1.88	0.82	26.18	5—6	58.21
Vulkanöl-Petroleum $\frac{68}{32}$	Quantum n. Tabelle	45	1.88	0.82	21.21	7—10	58.65
Ohne Öl		2	1.80	1.57	8.36	5—6	11.74
Vulkanöl	Ohne Säure	2	1.61	0.71	21.10	5—6	57.85

Tabelle IV.

Von großem Interesse war es zu untersuchen, wie künstlich zugesetzte Gasmengen sich unter gleichen Bedingungen bewähren würden. Fs war nun naheliegend, daß die schweflige Säure, welche auf der zum Werk gehörigen Kupferhütte in Rieseltürmen durch Lösung im Wasser — mit etwa 2 % SO_2-unschädlich gemacht wurde, beim Prozesse an Stelle der Schwefelsäure zu benutzen. Dieses SO_2-haltige Wasser, das außerdem bestimmte Mengen Schwefelsäure bis zu ca. 1 % enthalten konnte, besonders wenn es aus der letzten Verblaseperiode des Kupfersteins im Konvertor aufgefangen war, ergab bei gleicher Aufgabe Konzentrate von etwas höherem Kupfergehalt, ohne dadurch eine merkliche Steigerung des Metallgehaltes der Abgänge hervorzurufen. Die Versuche wurden genau so durchgeführt wie die früheren, nur daß an Stelle des verdünnten Schwefelsäurezusatzes ein solcher des beschriebenen gas- und säurehaltigen Wassers stattfand. Wesentlieh anders gestaltete sich jedoch die Sache, wenn dem Wasser der Schwefelsäuregehalt fehlte. In Tabelle IV sind die Resultate aufgeführt, welche mit einer solchen Gaslösung von ca. 1—1,5 % SO_2 an Stelle des verdünnten Säurezusatzes erhalten wurden. Daraus geht hervor, daß bei etwa gleichen Gehalten der Aufgabe die Metallgehalte der Konzentrate ganz wesentlich, zugleich aber auch mit den Abgängen gestiegen sind. Zur Zeit meiner

früheren Veröffentlichung[30], deren Abfassung im Frühjahr 1911 im Anschluß an meinen Vortrag im Berg- und Hüttenmännischen Verein für das Kronland Salzburg und Oberösterreich geschah, waren diese augenfälligen Unterschiede noch nicht bemerkt worden. Wohl war mir schon damals bekannt, daß, wenn die SO_2-Anreicherung des verwandten Wassers 2 % überstieg, die Resultate bedeutend ungünstiger wurden. Die Blasenentwicklung war zu stark, rührte auch die in der Trübe enthaltenen Gangmineralien auf, und die Blasen brachten beim Zerplatzen an der Wasseroberfläche schon schwimmende Erzteile wieder zu Fall. In Tabelle IV findet sich auch ein Versuch mit Vulkanöl ohne jeglichen Säurezusatz zum Vergleich, welcher den gleichen Erfolg zeitigte wie der mit den gashaltigen, jedoch schwefelsäurefreien. Ein Versuch ohne Öl und ohne jeglichen Säurezusatz ergab, wie aus gleicher Tabelle ersichtlich ist, nur ein Ausbringen von 11,74 % des Metallgehaltes; immerhin ein Beweis, daß ein Teil des Auftriebes der mechanischen Einwirkung aufsteigender Gasblasen zukommt.

Die Menge der aufsteigenden Gasblasen dem Volumen nach ist nun aber eine Funktion der Abmessungen der Vakuumpumpe aus Hub, Zylinderdurchmesser und Tourenzahl. Das Volumen des abgesaugten Gases kann sich also für ein und dieselbe Pumpe auch beim veränderten Vakuum nicht ändern, vorausgesetzt, daß die Tourenzahl dieselbe bleibt. Die Menge der abgesaugten Gase dem Gewichte nach ist jedoch indirekt proportional dem Gasdruck. Mißt man also die dem Apparate entzogene Luft unter Atmosphärendruck, so findet man bei verschiedenem Vakuum verschiedene Mengen. Aus der Überlegung des pro Zeiteinheit zu entfernenden sich immer gleich bleibenden Volumens an Gas ergibt sich, daß der Zusatz von gelösten Gasen eigentlich keinen Einfluß auf den Gang des Prozesses ausüben kann. Dies stimmt jedoch mit der Wirklichkeit, wie ja die Versuche mit SO_2-haltigem Wasser klar zeigen, nicht überein. Werden die Gase zu leicht aus der Trübe entbunden, d. h. sind sie in größerer Menge enthalten, dann erhält man hochprozentige Konzentrate, aber auch reichere Abgänge. Ferner ergab sich die unbedingte Notwendigkeit der sauren Reaktion der Trübe, um gute Resultate zu erzielen. Es ergibt sich daraus weiter, daß die Menge an Säure, d. i. Schwefelsäure, die pro Tonne Aufgabe zugesetzt werden muß, sich nach der Beschaffenheit des Wassers und der Trübekonzentration richtet. Ist das verwendete Wasser von vornherein von saurer Beschaffenheit, so bedarf es, wenn überhaupt, nur eines geringen Säurezusatzes. Dieser Fall findet sich gerade dann besonders, wenn saure Grubenwässer benutzt werden oder wenn sehr stark pyritische Erze zur Verarbeitung gelangen, die infolge ihrer leichten Oxydationsfähigkeit bald in Sulfat übergehen können. Es ergibt sich dies mit vieler Deutlichkeit aus Tabelle II. Ist das Wasser sehr hart, wie dies speziell auch für Mitterberg zutrifft, so ist ein größerer Säurezusatz erforderlich, der durch geringe Trübekonzentration sich pro Einheit zu verarbeitendes Material bis zur sauren Reaktion weiter steigert. Auf jeden Fall ist die Quantität nur empirisch innerhalb gewisser Grenzen zu suchen.

Immerhin erschien es interessant, die Menge der Auspuffluft zu messen, indem in dem 3¼zölligen Auspuffrohr die Geschwindigkeit der Luft mit Hilfe eines Anemonometers unter Berücksichtigung der erforderlichen Korrektionen bei ca. 686 mm Quecksilbersäule (Atmosphärendruck, da der Ort der Aufstellung in 830 m Seehöhe liegt und ca. 16° C gemessen wurde).

Es ergab sich:

bei 70 m/m Vakuum 49,5 lit./min.
bei 76 m/m „ 55,5 „ „

Die Bestimmung der spezifischen Gewichte verschiedener Trübekonzentrationen ergab mir $f = 0,0081$, so dass ich also mit ziemlicher Genauigkeit setzen konnte:

$$7.\quad g = 1 + 0{,}0081 \cdot p.$$

Für eine Trübe mit 8 % festen Bestandteilen, ergab sich für

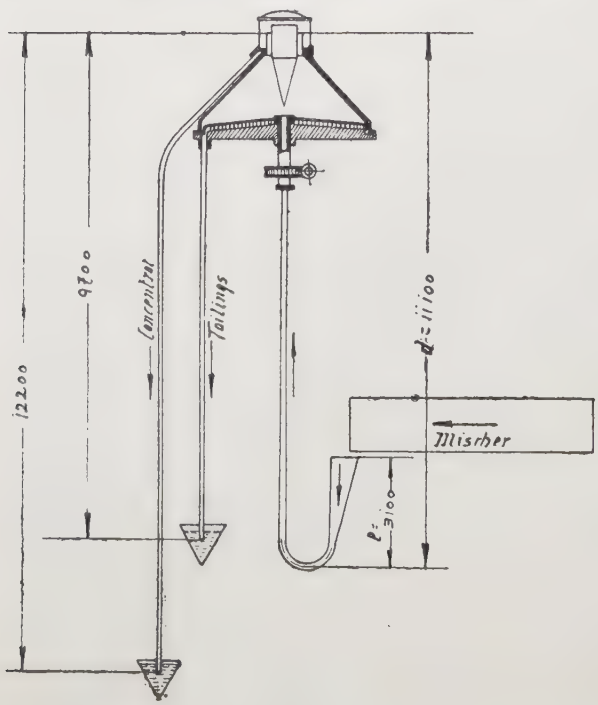
$$l = 11100 - 3100 = 8000 \text{ m/m und}$$
$$b = 686 \text{ m/m, das Vakuum zu}$$

30) Melallurgie 1912. S. 72–80. Über die Methoden der Schwimmverfahren in der Erzaufbereitung.

8. $x = F \left[686 - \frac{(1 - 0{,}0081 \cdot 8) 8000}{13{,}596} \right]$ m/m,

9. $x = F \cdot 59$ m/m.

In Wirklichkeit wurde an dem speziell aufgehängten Quecksilberbarometer eine Niveaudifferenz von 626 m/m abgelesen, so dass als absoluter Druck im Apparate sich 686 - 626 = 60 m/m ergaben, wonach also der Faktor F mit $\frac{60}{59} = 1{,}017$ anzusetzen wäre, ohne jedoch einen Anspruch auf allgemeine Gültigkeit zu machen. Jedenfalls ergibt der rechnerische Vorgang eine gute Übereinstimmung mit der Wirklichkeit, wo Vakuum und Trübesäule sich in Gleichgewicht befinden. Unter Berücksichtigung der Rohrlänge Fig. 3 mit 1 = 8000 m/m, wie sie ursprünglich dem Apparate vorlag, ergab sich durch Rechnung, dass die höchst zulässige Trübekonzentration für den genannten Normalbarometerstand 14, 36% feste Bestandteile maximal betragen durfte, eine Bestätigung, die auch die Praxis ergab, als stärker eingedickte Trüben verarbeitet werden sollten. Es ist also ein leichtes, für einen bestimmten Barometerstand und die gegebenen Rohrlängen unter Zugrundelegung dieser Formel jederzeit den Gehalt der Trübe an festen Bestandteilen bestimmen zu können. Aus praktischen Gründen wird man sich für die verschiedenen Prozentgehalte der Trübe die zugehörigen Drucke ausrechnen und in einer handlichen Tabelle zusammenstellen, aus der dann jederzeit die entsprechenden Werte ersichtlich sind.



Figur 3.

Für die Berechnung der Rohrlänge l wurde vorstehend eine Methode angegeben, die das im Mineralgemenge vorhandene Sulfid von grösstem spez. Gewicht und als Grundlage hat.

Im speziellen Fall — Pyrit = 5, b = 686 m/m — ist l = 7410 m/m. Diese errechnete Länge l des Steigrohres weicht verhältnismässig wenig von der Ausführung des l = 8000 m/m ab, mit der alle bisher besprochenen Versuche gemacht wurden, unterscheidet sich jedoch sehr beträchtlich von der Normalausführung der Apparate der mit l = 6270 m/m für bis etwa 3—400 m Seehöhe, und noch mehr für grössere Höhenlagen empfohlenen Rohrlänge l = ca. 5000 m/m.

Durch Heben des Mischers um ca. 3000 m/m auf den nächst höher gelegenen Boden konnte eine nutzbare Rohrlänge von ca. 5000 m/m geschaffen werden. Der Effekt schloss eine vernünftige Arbeitsweise überhaupt aus. Bei einer Trübekonzentration von ca. 10% war das Vakuum ca. 288 m/m. Die verschiedenen Versuche, die zur praktischen Ermittlung der günstigsten absoluten Saughöhe angestellt wurden unter Variation der Höhenstellung des Mischers, ergaben ein Optimum bei 7000 bis 7500 m/m und zwar ohne jegliche merkbare Differenzierung bei verschiedenen Trübekonzentrationen im Steigrohr. Diese so praktisch gefundene Steigrohrlänge stimmt mit der rechnerisch ermittelten ausserodentlich gut überein und arbeitet man mit ca. 7400 m/m absoluter Saughöhe bei dieser Aufstellung am günstigsten. Rechnet man umgekehrt aus der beim Normalapparat gegebenen Länge von 6270 m/m für

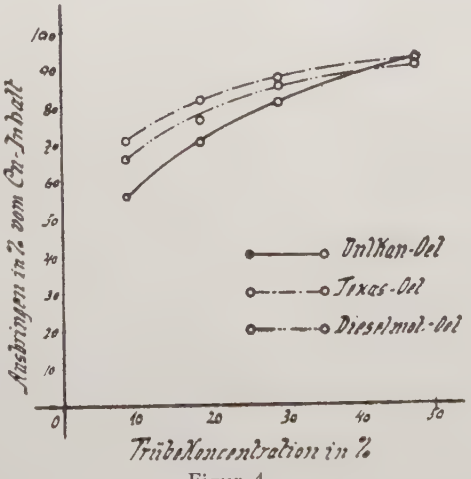
etwa 200 m Seehöhe, also ca. 740 m m Quecksilbersäule, mit Hilfe der Formel 11, so findet man das zu Grunde gelegte spezifische Gewicht zu etwa 3,7, was ja für Zinkblende, poröse Kiesarten und sonstige leichte Mineralien zutreffend ist.

So wichtig diese Frage erscheint, so steht sie doch bei weitem hinter der der richtigen Trübekonzentration in bezug auf erfolgreiches, hohes Ausbringen zurück. An früherer Stelle wurde bereits auf den Faktor γ_i als Coeffezienten der Geschwindigkeit und damit der Intensität des Einölens pro Zeiteinheit hingewiesen. Die in den einzelnen Tabellen angegebenen Versuche betrachteten den Arbeitsgang des Apparates etwa bei Trübekonzentrationen von 8—12 % fester Bestandteile und sind die Resultate unter diesen Verhältnissen keineswegs als ideal zu bezeichnen. Die versuchte Erhöhung des Ausbringens durch Variation der zugesetzten Ölmengen war nicht in wünschenswerter Weise eingetroffen. Es ist ohne weiteres einzusehen, dass eine sehr starke Eindickung im Mischer für die Intensität der Ölung von ausserordentlichem Einfluss sein muss. Bei gleicher Ölmenge pro Tonne fester Bestandteile ist die Ölkonzentration eine grössere und infolge des verringerten Flüssigkeitsvolumens die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens eines Öltröpchens resp. Moleküls mit einem Erzkorn eine grössere. In Tabelle V ist der Einfluss der Trübekonzentration im Mischer gekennzeichnet und sieht man daraus den eminenten Einfluss auf das Ausbringen.

feste Bestandteile der Trübe im Mischer in %	Ausbringen in Prozent des Cu-Inhaltes			Bemerkungen
	Vulkanöl B	Texasöl	Dieselmotoröl	
8— 9	55,9	70,5	65,9	Temp 6—7° C
17—20	70,2	81,6	76,3	Aufstellung des Apparates
28—30	81,6	87,5	85,2	mit 1 = 7400 m/m
45 - 50	93,2	93,0	91,4	

Tabelle V.

Diese Tabelle sowie die daraus konstruierte Fig. 4 zeigen mit aller Deutlichkeit, daß mit steigender Konzentration der Trübe bei der Behandlung im Mischer die spezifischen Eigenschaften der Öle immer mehr zurücktreten und daß alle Öle, soweit sie überhaupt für den Prozeß in Frage kommen können, hinreichende Einengung der Trübe vorausgesetzt, gleich gut verwendbar sind. Der Einfluß der Temperatur bei der Behandlung wird im gleichen Maße damit immer unbedeutender. In bezug auf das Ausbringen ergeben sich bei der Zusammenstellung der Werte für Trübekonzentration und Temperatur Kurven, wo erstere in gewissem Grade durch letztere ersetzbar ist. Für den Elmore-Vakuum-Prozeß ist aus ökonomischen Gründen unstreitig die Erhöhung der Trübekonzentration das Gegebene.



Figur 4.

Diese außerordentlich bedeutungsvolle Tatsache der Konzentration hat nun insofern ihre besonderen Schattenseiten, als es außerordentlich schwierig ist, die von einer vorangehenden naßmechanischen Aufbereitung kommende Trübe, welche naturgemäß meist ziemlich verdünnt ist, verlustfrei einzudicken, da bekanntlich immer die feinen schwimmenden Teilchen sehr leicht mit dem Überwasser des Verdichtungskastens verloren gehen, will man nicht ganz und gar auf die Gewinnung dieser verzichten. Die weiteren Versuche über die Trübedichte im Steigrohr zeigten nun, daß bei der Behandlung der Trübe im Konzentrator nicht nur die dicke Konsistenz

überflüssig, sondern sogar hinderlich ist, und daß eine starke Verdünnung nach dem Austritt aus dem Mischer wünschenswert wird, um ungehinderte Blasenbildung und Austritt der beladenen Sulfidteilchen zu ermöglichen. Hierbei kommt das Überwasser des dem Mischer vorgeschalteten Spitzkastens zu statten. Nach den vorgenommenen Untersuchungen scheint es dabei ziemlich gleich, bis zu welcher unteren Grenze man geht, doch kann ich mich des Eindruckes nicht erwehren, daß etwa im Zuleitungswasser vorhandene Sulfide, welche also nicht der Behandlung im Mischer unterworfen waren, einer Zugutemachung sehr schwer zugänglich sein dürften. Ich glaube dies daraus schließen zu müssen, daß bei größeren Gehalten dieses Verdünnungswassers meistens auch die Abgänge etwas höher waren. Speziell hierauf gerichtete Versuche wurden jedoch nicht vorgenommen.

Es mag sein, daß diese Beobachtung auch mit dem Feinheitsgrade des Minerals zusammenhängt. Wie bereits schon an früherer Stelle erwähnt wurde, blieb das Ausbringen an Metall bei der geringen Konzentration von 8 % im Anschluß an die neue Anlage bedeutend gegen früher zurück, obwohl die gleichen bestbefundenen Ölsorten zur Verwendung gelangten. Durch eine Variation in den zugesetzten Öl- und Säuremengen konnte ebenfalls das frühere Ausbringen nicht erreicht werden. Durch Zugabe gesammelten Aufgabematerials an der laufenden Menge von ca. 25 Tons/24 Stunden konnte man die frühere Konzentration von 10—12 % fester Bestandteile in der Trübe durch Verwendung des als gut befundenen Vulkanöles B und Innehaltung der früher gehabten Temperaturgrenzen die ursprünglichen Verhältnisse wieder hervorrufen; doch war es auch so nicht möglich, bei der neuen Anlage über eine Ausbeute von 55 % des Metallinhaltes anfangs hinauszukommen. In der Tabelle VI und VII findet sich eine Zusammensetzung des der Verarbeitung unterworfenen Gutes, der dazugehörigen Abgänge und des Konzentrates. Ein Vergleich beider zeigt, daß die spätere Aufgabe II um ein ganz Bedeutendes aus vorwiegend allerfeinsten Schlämmen zusammengesetzt ist. Diese Ziffern sind lediglich aus einer ganzen Reihe

Siebproben zum Elmore-Prozess I.

Korngröße	Aufgabe			Tailings			Concentrate		
	Ausw. i. %	Menge i. gr.	% Cu	Ausw. i. %	Menge i. gr.	% Cu	Ausw. i. %	Menge i. gr.	% Cu
Über 50 Maschen	3.9		0.18	5.7		0.22	—		—
Von 50— 75 Maschen . .	11.6		0.55	6.9		0.20	—		—
„ 75—100 „ . .	31.6		1.09	30.7		0.25	25.6		18.53
„ 100—150 „ . .	15.5	dto.	1.65	18.6	dto.	0.59	8.7	dto.	19.54
„ 150—200 „ . .	7.3		1.96	5.6		0.47	11.6		16.72
„ 200—300 „ . .	14.8		3.06	13.8		1.08	29.8		13.12
Unter 300 „ . .	15.4		2.80	16.3		1.73	24.3		7.16
Summa u. Durchschnitt. .	100.0	100.0	1.71	100.0	100.0	0.67	100.0	100.0	14.00

Tabelle VI.

Siebproben zum Elmore-Prozess II.

Korngröße	Aufgabe			Tailings			Concentrate		
	Ausw. i. %	Menge i. gr.	% Cu	Ausw. i. %	Menge i. gr.	% Cu	Ausw. i. %	Menge i. gr.	% Cu
Über 50 Maschen	8.3	13.0	0.30	6.7	9.0	0.27	. . .	. . .	. . .
Von 50—75 „	11.6	18.0	0.36	10.0	13.5	0.31	. . .	. . .	. . .
„ 75—100 „	14.1	22.0	0.67	13.3	18.0	0.24	11.1	12.5	15.21
„ 100—150 „	17.3	27.0	0.91	21.1	28.5	0.44	18.9	21.2	10.62
„ 150—200 „	6.4	10.0	1.35	11.1	15.0	0.57	5.2	5.8	13.07
„ 200—300 „	16.7	26.0	2.88	11.1	15.0	1.26	17.2	19.3	9.11
Unter 300 „	25.6	40.0	2.31	26.7	36.0	2.25	47.5	53.2	6.54
Summa u. Durchschnitt	100.0	156.0	1.51	100.0	135.0	0.98	100.0	112.0	9.04

Tabelle VII.

solcher Bestimmungen herausgegriffen und können als gute Durchschnittswerte angesehen werden. Infolge der konsequenteren Durchführung des Aufschlusses für die Herdarbeit bei der neuen Anlage war gegen früher die Korngröße des Materials eine wesentlich geringere. Erst als es gelang, die Trübe vor dem Mischer auf mindestens 25—35 % feste Bestandteile einzudicken, erhielt man auch hier dauernd gute Resultate:

Der Durchschnitt eines beliebigen Monats war:

Aufgabe	1,51 % Cu	Ausbringen
Konzentrate	12,02 % Cu	ca. 80,3 % mit Vul=
Tailings	0,33 % Cu	kanöl B bei 5—6° C

Immerhin bleibt die Tatsache bestehen, daß, sonst gleiche Verhältnisse vorausgesetzt, das Gut, welches die meisten feinen Bestandteile enthält, die schlechteren Ausbeuten liefert. Erhöhung der Trübekonzentration beseitigt die Nachteile.

Alle Versuche, die unter genauer Beobachtung der Temperaturverhältnisse durchgeführt waren, hatten gezeitigt, daß mit steigender Temperatur die Ausbeute, wie aus Tabelle I ersichtlich, eine bessere wurde. Es lag nun sehr nahe, auch über die durch die warme Jahreszeit an und für sich gegebenen Verhältnisse weiter hinauszugehen, die ja höchstens bis zu 10° C betrugen. Dem stand jedoch entgegen, daß die zu erhitzende Menge viel zu groß für den danebenliegenden für die Speisung der Dampfheizung vorgesehenen Kessel war, um zu bemerkenswerten Resultaten zu kommen.

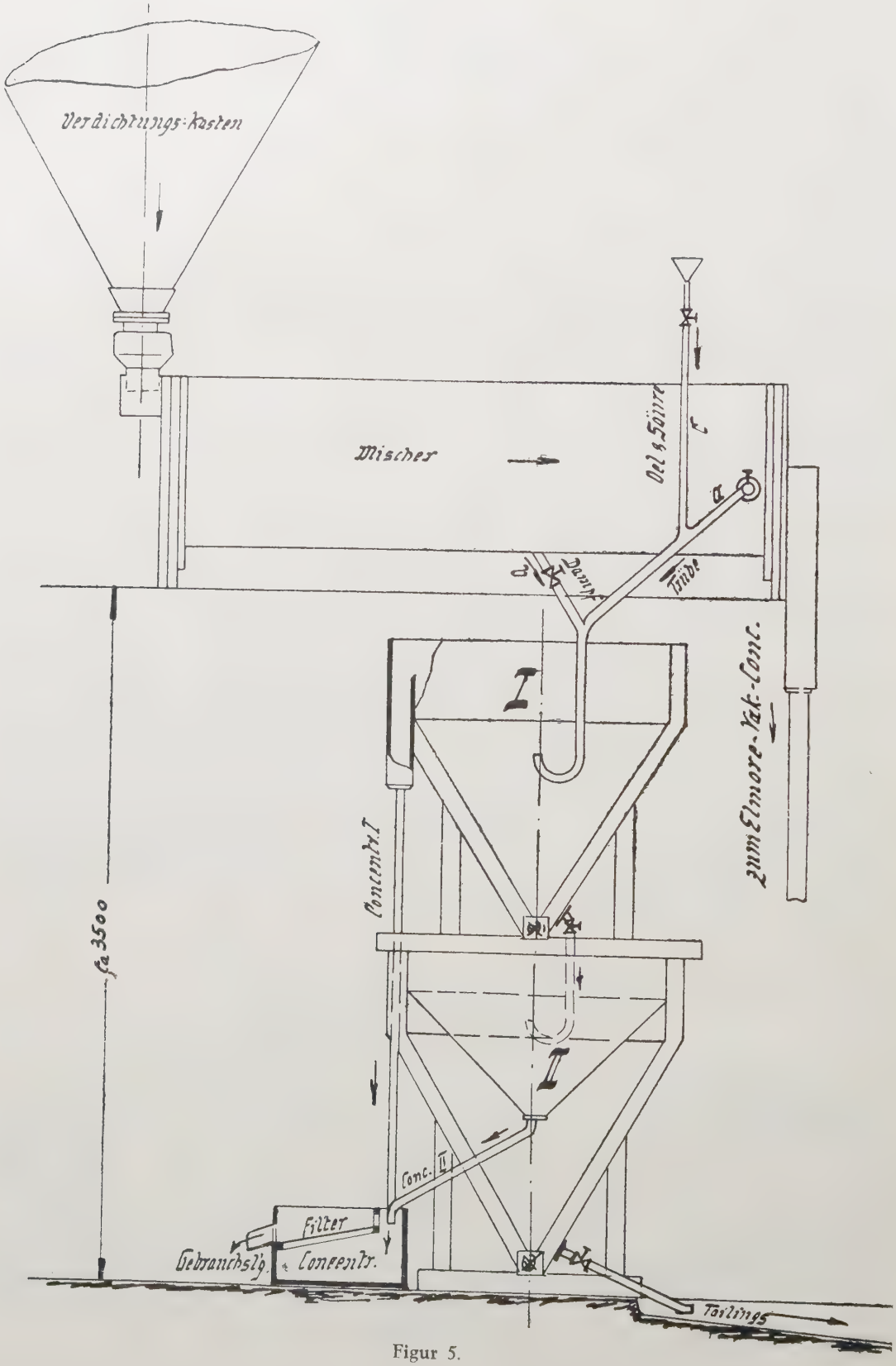
In diese Zeit fielen nun die Versuche, welche mit gleicher Aufgabe und einer Konzentration von 10 % mit dem Spitzkastenverfahren gemacht wurden.

Zunächst wurde also ein aliquoter Teil der Trübe, die den Mischer verließ, (siehe Fig. 5), durch Rohr a entnommen und bei gleichzeitiger Zuführung mit Dampf von ca. 0,25 Atmosphären durch Rohr b gemischt. Die erhitzte Trübe mit Öl und Säure ging dann als Aufgabe zu Spitzkasten I, der Überfall, bestehend aus Konzentrat I, schied als Fertigprodukt aus dem Prozeß aus und die Abgänge des Spitzaustrages I bildeten die Aufgabe für den Spitzkasten II, wo ein Konzentrat II und arme Abgänge gewonnen wurden. Diese Anordnung, welche im wesentlichen der Apparatur des Mineral=Separations=Prozesses gleichkam, ergab jedoch, daß es an dem genügenden Auftriebe für die Konzentrate fehlte. Demgemäß vermehrte ich die Menge der Säure durch Zugabe in das Rohr c. Mit gleicher Aufgabe, Siehe Tab. VIII., wie sie der Elmore=Apparat zuletzt erhielt, konnte trotz unvollkommener Anordnung nach dem Spitzkastenverfahren ein Ausbringen von 71,7 % bei einem Konzentratgehalt von 12,67 % Cu erreicht werden. Tailings vom Elmore=Vakuum=Verfahren ergaben mit dem Spitzkastenverfahren ein Ausbringen von 50 % bei einem Gehalte des Konzentrates von 13,56 %.

Versuche mit dem Spitzkasten=Verfahren.

No.	Aufgabe			Concentrat		Abgänge		Ausbringen %	Säurecontraction %	Ölverbrauch in ccm	Trübeconcentration % f. Best.	Temp. i. C	Bemerkungen
	Material	Menge i. kg	% Cu	Menge i. kg	% Cu	Menge i. kg	% Cu						
1.	Gemischte Herd=Mittelprodukte	370	1,33	25,2	14,79	nicht gewogen	0,34	75,7	0,45	500 zu viel	12	46—50	Die Concentrate aus Spitzkasten I u. II waren in Bezug auf ihre Gehalte ziemlich gleich. II lieferte jedoch nur 1/3 der Menge von I.
2.	Elmore=Aufgabe	ca. 350	1,35	26,9	12,67	ca. 320	0,37	71,7	0,52	200	8	46—50	wie zuvor
3.	Elmore=Tailings	ca. 28,8	1,03	1,07	13,56	ca. 27.8	0,51	50,0	0,55	60	8	46—50	Bei diesen Versuchen wurde nur 1 Spitzkasten verwandt.

Tabelle VIII.


Verdichtungs-kasten
Mischer
Oel & Säure
Dampf
Luft
zum Elmore-Kat.-Conc.
Concentr. I
I
II
ca 3500
Conc. II
Filter
Gebrauchsl.
Concentr.
Tailings

Figur 5.

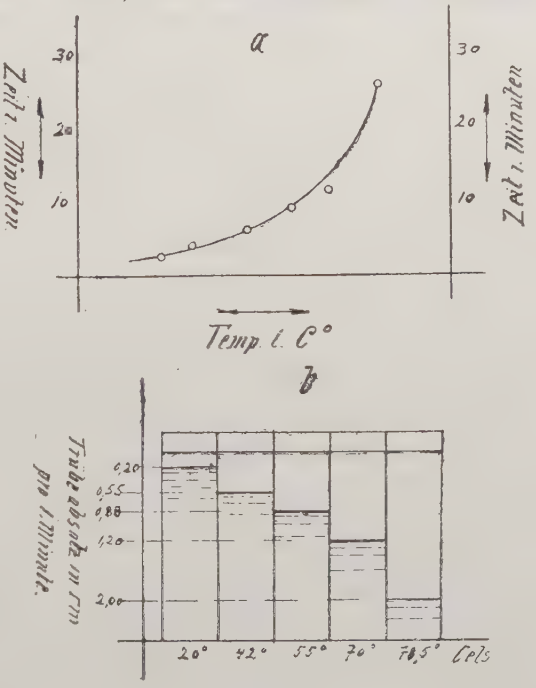
Der Auftrieb der Konzentrate begann fast genau bei der Temperatur von 45—46° C und war in gewissem Sinne unabhängig vom Säuregehalte. Eine Gasentwicklung, somit eine Zersetzung vorhandener Mineralkarbonate fand bei der angegebenen Temperatur und einer Säurekonzentration von $^1/_2$ % nicht statt, wohl eine intensive Schaumbildung an der Oberfläche, wo sich die Konzentrate ansammelten. Das Ausbringen war größer und ein Unterschied der dickflüssigen Öle für ihre Verwendbarkeit nicht mehr zu erkennen. Diese Bildungstemperatur des Konzentratschaumes machte den Eindruck der Gesetzmäßigkeit. Es war mir klar, daß keine chemische Einwirkung der so verdünnten Säure stattfinden oder Lösung der Öle vor sich gehen könnte. Um auf die Ursachen dieser scheinbaren Gesetzmäßigkeit zurückzukommen, behandelte ich einige Tropfen Vulkanöl in einem 500 ccm fassenden Erlenmayerkolben mit ca. 300 ccm einer $^1/_2$%igen Schwefelsäurelösung zuerst in der Kälte, dann bei gesteigerter Temperatur bei intensivem Schütteln. Während in der Kälte sich die Tropfen nach einigen Minuten der Ruhe an der Oberfläche ansammelten, blieben sie in der Wärme, also von etwa 45° aufwärts, unsichtbar, bis bei einer Abkühlung wieder eine Sonderung eintrat. Demnach tritt bei der angegebenen Temperatur von ca. 45° und sehr energischer Mischung geringerer Mengen Mineralöl mit schwefelsäurehaltigem Wasser eine Emulgierung ein. Beobachtung derselben Erscheinung bei anderen Säuren (HCl und HNO_3) in gleichen Konzentrationsverhältnissen lehrte, daß vor allem die Schwefelsäure sich am besten dafür eignete. Damit wurde gleichzeitig der Zweck des Säurezusatzes klar und das vorteilhafte Verhalten einer höheren Temperatur beim Elmore-Prozeß selbst. Die intensive Arbeit des Mischers bedingt auch bei der niederen Temperatur eine vorübergehende Emulgierung des Öles in der Flüssigkeit und bewirkt dadurch, daß alle Teilchen mit der günstig wirkenden Emulgierung in Berührung kommen, eine Möglichkeit, die auch bei einer technisch noch so vollkommenen Zerstäubung des Öles nie so vollkommen sein kann.

Der erreichte Konzentratgehalt von 13,56 % Cu bedingt, daß der Gehalt des Siebfeinsten um beträchtliches geringer sein muß als beim Elmore-Verfahren, da er nicht mehr in so ausgesprochenem Maße den Durchschnittsgehalt zu drücken vermag. Leider wurde übersehen, eine entsprechende Siebprobe anzufertigen.

Allein aus dem letzteren Versuche geht hervor, daß das Verfahren bei höherer Temperatur im Stande ist, noch von ersterem schlecht verarbeitete feinste Schlämme in ihrem Gehalte zu reduzieren. Mit gleicher Aufgabe, wie sie der Elmore-Apparat anfangs in der neuen Aufstellung mit 8—10 % festen Bestandteilen in der Trübe erhielt, konnte trotz unvollkommener Anordnung nach dem Spitzkastenverfahren ein Ausbringen von 71,7 % bei einem Konzentratgehalte von 12,67 % Cu erreicht werden.

Jedenfalls bedurfte die Tatsache, warum bei höherer Temperatur ein höherer Grad der Anreicherung zu erreichen ist, als bei niederer und warum das Ausbringen in einem Falle besser, in dem anderen schlechter ist, einer Erklärung.

Hierzu füllte ich in hohe Bechergläser von 500 ccm Inhalt Trübe, wie sie der Elmore-Apparat als Aufgabe erhielt, bis zu einer bestimmten Marke an, bei allen in derselben Horizontalebene und brachte sie unter kräftigem Rühren auf die Temperaturen von 20, 42, 55, 70, 78½° C, dann wurde plötzlich das Rühren unterbrochen



Figur 6.

und das Absitzen der festen Bestandteile bis zu einer Klärung des überstehenden Wassers beobachtet. Dabei ergab sich, daß mit steigender Temperatur die Geschwindigkeit, mit der das Absetzen der Teilchen erfolgte, beträchtlich wuchs. Bei 20° C dauerte es 25 Minuten, bei 78.5° C jedoch nur 2,5 Minuten. Die Resultate finden sich in Fig. 6b, in etwas anderer Form zusammengestellt, während Fig. 6a die Kurve in der Zeiteinheit abgesetzter fester Bestandteile enthält. Der Coeffecient η_w der inneren Reibung des Wassers fällt mit steigender Temperatur in der in der Schaulinie angegebenen Weise. Und da das Verhältnis des Einflusses der Schwere und des Coeffecienten der Reibung für ein schnelles Absetzen in einem Medium mit steigendem Feinheitsgrade des Fallobjektes immer ungünstiger wird, so ergeben sich folgende, beachtenswerte Momente:

1. Hat man eine unklassierte Trübe von sulfidischen Mineralien und Gangart, wie sie für Flotationsprozesse in Anwendung kommt und bei welcher in den größten Feinheitsgraden die Gangart vorherrschend ist, so wird man immer verhältnismäßig niedrige Konzentrate bekommen, umgekehrt im anderen Falle.
2. Da gegenüber η_w die Oberflächenspannung mit steigender Temperatur verhältnismäßig um geringe Beträge sinkt, findet durch die Wärmesteigerung keine nennenswerte Beeinträchtigung der Schwimmfähigkeit der Mineralien statt, und
3. erreicht man eine Beschleunigung des Vorganges infolge schnellerer Absonderung der Gangart von den sulfidischen Mineralien.
4. Mit wachsender Feinheit des Materials vermindert sich bei gleichbleibender Temperatur die Leistungsfähigkeit eines Vakuum-Konzentrators dem Gewichte der Aufgabe nach.
5. Da die Flüssigkeitssäule im Konzentrator, speziell also auch beim Überfall infolge der durch das Auslaßventil der Tailings hervorgerufenen pendelnden Bewegungen nie zur Ruhe kommt, so ist eine exakte Trennung der Bestandteile in den größten Feinheitsgraden überhaupt illusorisch.

Es darf nun nicht versäumt werden, auf die in Tabelle III, 3 aufgeführte Trennung zweier verschiedener Sulfide hinzuweisen. Wie bekannt, wird durch Zusatz geringer Mengen löslicher Substanzen zum Wasser die Oberflächenspannung des Wassers nicht unerheblich geschwächt, so daß also an und für sich die weniger für Flotation geeigneten Sulfide bei der Behandlung mit solchen Lösungen diesen keine Schwimmfähigkeit zu verleihen mehr imstande sind, wohl aber noch den sehr gut flotierenden. Man erhält also zum Beispiel durch Behandlung eines Materials, das neben Gangart Kupferkies und Pyrit enthält, mit einer beliebigen sauren, sagen wir, Vitriollösung von entsprechender Konzentration, zuerst ein Konzentrat, das die Hauptmengen des Kupfererzes in Gestalt eines Films enthält und nach erfolgtem Anhub desselben und Zusatz von Öl und etwas Säure und intensiver Rührung den Pyrit mit wenig Kupferkies auf der Oberfläche des Bades in Form eines Schaumes. Inwieweit dieses Verfahren praktisch verwendbar ist, kann bei der geringen Berücksichtigung, welche ich ihm schenkte, nicht gesagt werden.

Zugunsten der Flotationsprozesse erledigt sich die Frage, wenn es darauf ankommt, Mischerze aus magnetischen und sulfidischen Mineralien auf nassem Wege voneinander zu trennen. Die Verarbeitung eines spätigen Mittelproduktes, wie es die 15 Schüttelherde der neuen Mitterberger Aufbereitung lieferten mit ca. 5 % Kupfer entsprechend etwa 15 % Kupferkies und 80 % Spateisenstein ergab bei der Nassbehandlung auf Ullrich-Magnet-Scheidern schliesslich immerhin noch als Fertigprodukt einen Spateisenstein mit 1,2—1,3 % Cu. Die Behandlung des zweiten Produktes mit dem Elmore-Vakuum-Prozess lieferte neben einem Kupferkonzentrat mit ca. 18 % Cu, Spateisensteinabgänge mit maximal 0,60 % Cu. Der Grund der schlechten Arbeit beim magnetischen Verfahren liegt eben darin, dass schwimmende Sulfidteilchen mit dem Wasser an die rotierenden Pole gelangen und dort gleich dem Spateisenstein abgespritzt werden..

Vor den bisherigen Methoden der Verarbeitung feiner Sande und Schlämme auf Plan-, Stoss-, Schüttel- und Kegelherden haben alle Flotationsverfahren mit Aus-

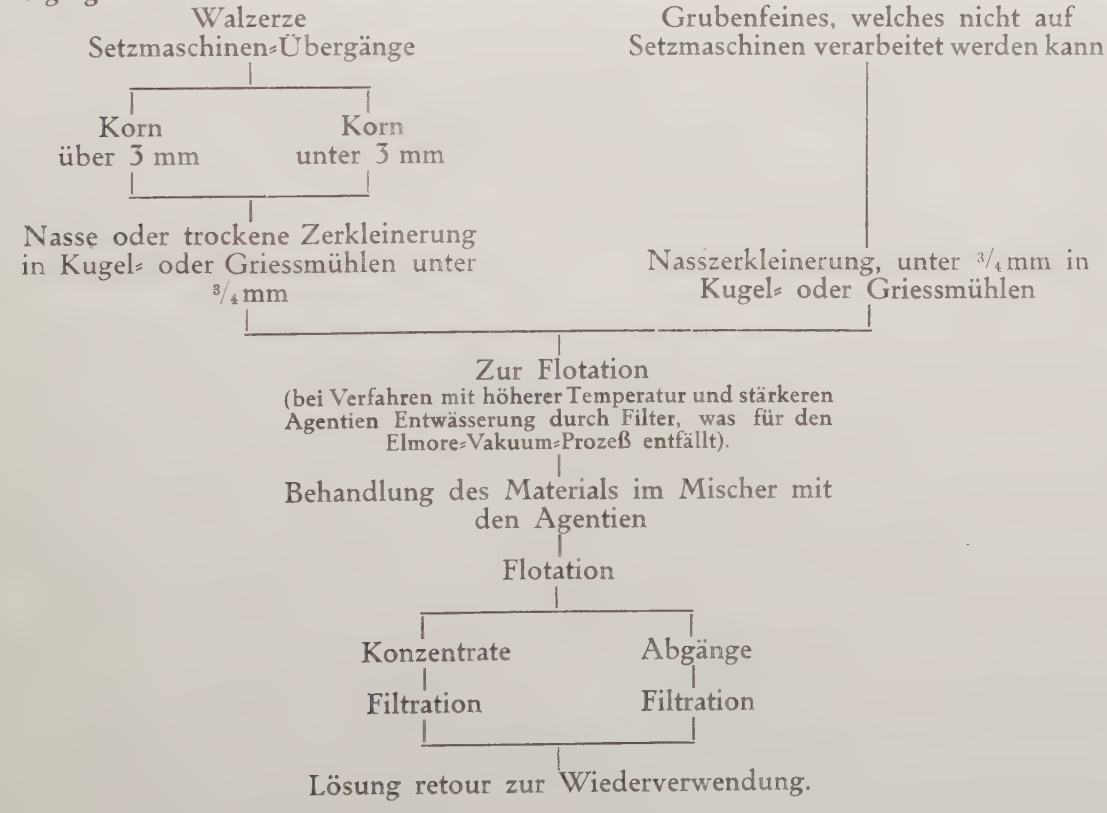
nahme von dem von Maquisten den Vorzug der Entbehrlichkeit einer vorangehenden Klassifikation mit den dazu verwandten Spitzlutten und Stromgerinnen. Und da andererseis bei sulfidischen Mineralien die Herdwäsche allein nicht zum Ziele führt und durch Flotation vollständig ersetzt werden kann, so könnte man durch konsequente Anwendung der Schwimmverfahren neben der wesentlichen Vereinfachung des Betriebes eine ganz bedeutende Platzersparnis bei der Anlage erzielen.

Während die bei gewöhnlicher Temperatur arbeitenden Prozesse ohne weiteres dem mechanischen Gange einer Aufbereitung eventl. nach vorausgegangener Trübekonzentration angeschlossen werden können, ist dies für die bei höherer Temperatur arbeitenden aus ökonomischen Gründen umständlicher. Diese erfordern infolge sonstiger beträchtlicher Verluste an Öl, Säure und besonders Wärme eine möglichst vollständige Ergänzung der Agentien. Will man also einen derartigen Prozess im Anschluss an eine vorausgehende Nassbehandlung verwenden, so ist eine möglichst weitgehende Entwässerung zwecks Anrührung mit der ständig zirkulierenden Arbeitslösung Vorbedingung. Die Entwässerung der Trübe könnte nun auf zwei verschiedene Arten geschehen:

1. Durch Absetzen in Sümpfen, was aber wieder bei den sulfidischen Mineralien insofern von Nachteil ist, als ein grosser Teil mit dem Klarwasser infolge der Schwimmfähigkeit verloren ginge;
2. Durch Filtration, ein Weg, der mir als der ökonomischste erscheint. Dafür kommen kontinuierliche Vakuum- und Druckfilter in Betracht, etwa von der Art, wie sie bereits für den Spezialzweck der Filtration von Cyanidlösungen in der Gold- und Silberlaugerei in Verwendung stehen, mit dem Unterschied, dass sie für grössere Korngrössen als im speziellen Fall geeignet und säurebeständig sein müssten.

Für die Gewinnung der mit den Abgängen des Flotationsprozesses verlorengehenden Agentien würde natürlich die Filtration ebenfalls Anwendung finden.

Demnach würde sich also der Aufbereitungsgang eines sulfidischen Erzes mit Setzarbeit und nachfolgender Weiterverarbeitung durch Flotationsverfahren etwa wie folgt gestalten:



Die Filtration des Abwassers, der Konzentrate und Abgänge entfällt für den Elmore-Prozess. Die angegebene Nass- oder Trockenzerkleinerung für die Setzmaschinen-übergänge läßt sich so dirigieren, daß für den Elmore-Prozeß nach der Vereinigung mit den Grubenkleinzeugen genau die richtige Konsistenz für die Weiterverarbeitung erreicht wird, für die anderen Verfahren, welche einer Entwässerung bedürfen, ein minimales Wasserquantum zu entfernen ist.

Für die Anwendung des Elmore-Vakuum-Prozesses ist das Vorhandensein geeigneter Werte von α und ϑ für Erz, Öl und Wasser Bedingung, wenn außerdem die Korngröße unter $^3/_4$ mm beträgt. Die Gasentwicklung als solche kommt als nächster Moment in der Wertschätzung, gelingt es doch mit ihr allein — ohne Öl und Säure — eine Ausbeute von $^1/_3$ des sulfidischen Metallinhaltes zu erlangen. Da diese mit der Säure und dem Vakuum in gewissem Zusammenhange steht, können diese, ohne Anwendung der besonderen Feinheiten, dafür eingestzt werden. Ungefähr gleich wichtig ist für das Ausbringen möglichst hohe Konzentration der Trübe im Mischer, ohne Berücksichtigung dieser verliert die ganze Arbeit die Hälfte ihres Wertes. Temperatursteigerung, also Rücksicht auf die Werte η_l und $\eta_{l\,w}$, sowie Einstellung des genau berechenbaren Vakuums sind Eingriffe, die imstande sind, das Ausbringen an Metall beim Prozesse günstig zu beeinflussen.

Ich enthalte mich einer Gegenüberstellung der Flotationsverfahren bei höherer Temperatur aus dem Elmore-Vakuum-Prozess. Bei beiden Arten stehen gewissen Vorteilen immer gewisse Nachteile gegenüber. Im allgemeinem dürften beide als gleichwertig aus ökonomischen wie technischen Gründen mit einander konkurrieren können.

Gedruckt bei C. Erich Behrens, Hamburg 6